



TUGAS AKHIR – RC145501

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG SMA MUHAMMADIYAH 3 GADUNG SURABAYA DENGAN SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH

REINHARD HERMAWAN LASUT

3112030111

DITA ADELIA ANGGRAINI

3112030137

Dosen :

IR. M. SIGIT DARMAWAN, M.Eng.Sc, Ph.D

NIP. 19630723 198903 1 003

**PROGRAM DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERECANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA**

2015



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

APPLIED FINAL PROJECT– RC145501

**STRUCTURE MODIFICATION OF
SMA MUHAMMADIYAH 3 GADUNG SURABAYA
BUILDING USING INTERMEDIATE MOMENT
RESISTING FRAME SYSTEM**

REINHARD HERMAWAN LASUT

3112030111

DITA ADELIA ANGGRAINI

3112030137

COUNSELLOR LECTURER :

IR. M. SIGIT DARMAWAN, M.Eng.Sc, Ph.D

NIP. 19630723 198903 1 003

DIPLOMA III CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND PLANNING
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA

2015

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR
MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG SMA MUHAMMADIYAH
3 GADUNG SURABAYA DENGAN SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN MENENGAH**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Diploma Teknik
Pada
Program Studi D III Teknik Sipil
Bangunan Gedung
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan

Surabaya, 29 Juni 2015

Disusun Oleh :

Mahasiswa I



REINHARD HERMAWAN L

3112030111

Mahasiswa II



DITA ADELIA ANGGRAINI

3112030137

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

15 JUL 2015



Ir. M. Sigit Darmawan, M.Eng.Sc, Ph.D

NIDP 19630723 198903 1 003

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG SMA MUHAMMADIYAH 3 GADUNG SURABAYA DENGAN SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH

Nama mahasiswa : 1. Reinhard Hermawan Lasut
2. Dita Adelia Anggraini
NRP : 1. 3112030111
2. 3112030137
Jurusan : Diploma 3 Teknik Sipil FTSP ITS
Dosen Pembimbing : Ir. M.Sigit Darmawan, M.EngSc,Ph.D

Abstrak

Gedung SMA Muhammadiyah 3 Gadung Surabaya terletak di kota Surabaya. Gedung ini terdiri dari 4 lantai dengan panjang 15,5 m dan lebar 14,5 m. Berdasarkan hasil SPT diketahui bahwa gedung dibangun diatas tanah kondisi sedang.

Dalam modifikasi struktur ini digunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah. Dengan penghitungan gempa sesuai dengan SNI 1726-2012 : Standar Perencanaan Ketahanan Bangunan Gedung. Dan metode perencanaan gempa yang dipilih adalah dengan metode static ekivalen dikarenakan bentuk gedung yang beraturan. Sedangkan perhitungan pembebanan non-gempa berdasarkan fungsi bangunan sesuai dengan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Bangunan Gedung (PPIUG) 1983. Sedangkan perencanaan struktur beton dan pondasi digunakan Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung yang mengacu pada SNI 03-2847-2002.

Dari perhitungan yang diperoleh, dimensi struktur bagian atas yaitu balok induk arah X 30/40 cm, arah Y 20/30cm , balok anak 20/25 cm, pelat lantai dengan ketebalan 12 cm, pelat tangga

dan bordes 15 cm, dan kolom 40/40. Struktur bagian bawah dengan tiang pancang berdiameter 40 cm dan kedalaman 12 m.

Kata kunci : SRPMM, Statik Ekuivalen

STRUCTURE MODIFICATION OF SMA MUHAMMADIYAH 3 GADUNG SURABAYA BUILDING USING INTERMEDIATE MOMENT RESISTING FRAME METHOD

Name : 1. Reinhard Hermawan Lasut
2. Dita Adelia Anggraini
Register Number : 1. 3112030111
2. 3112030137
Department : Diploma 3 Teknik Sipil FTSP ITS
Counsellor Lecturer : Ir. M.Sigit Darmawan, M.EngSc,Ph.D

Abstract

Building of SMA Muhammadiyah 3 Gadung Surabaya is located in Surabaya city. Consists of four floor with 15,5 m length and 14,5 width. Based on the result of SPT test, as known the building was established on the medium condition land.

In this structure modification, the building is designed in Intermediate Moment Resisting Frame Method as the earthquake resistant structural design. And the calculation of earthquake load is designed in SNI 1726-2012. Method of earthquake calculation using Static Equivalent Analysist thus the building area is in regularly form. However, the non-earthquake load calculation depends on its function that mentioned in PPIUG 1983. And design of concrete structural design using SNI 03-2847 :2002

The calculating result, upper structure dimension in earned, those are beams in X direction is 30/40 cm, beams in Y direction is 20/30cm , joists is 20/25 cm, thickness of floor plate is 12 cm, stairways and edges is 15 cm. And the bottom structure using spun pile diameter 40 cm which depth is 12 m.

Keywords : Static Equivalent, Intermediate Moment Resisting
Frame Method

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan segala puji syukur kehadiran Allah Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya. Penulis telah menyelesaikan penyusunan tugas akhir ini dengan judul **“Modifikasi Struktur Gedung SMA Muhammadiyah 3 Gadung Surabaya dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah”**.

Tersusunnya tugas akhir ini tidak terlepas dari bimbingan, bantuan serta motivasi yang telah diberikan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam tugas akhir ini. Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada :

1. Allah SWT
2. Kedua orang tua dan saudara yang telah memberikan dukungan moril dan materil serta doa yang senantiasa dipanjatkan kepada Allah SWT.
3. Bapak Ir.M.Sigit Darmawan, M.EngSc,Ph.D selaku dosen pembimbing dan ketua program studi Diploma Teknik Sipil FTSP ITS yang telah membimbing selama dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Segenap dosen dan karyawan Program Diploma Teknik Sipil.
5. Teman-teman yang selalu memberikan dukungan, doa, serta saran selama dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

Kami menyadari adanya kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini, maka dari itu penulis mengharap adanya saran dan kritik yang bersifat membangun untuk kesempurnaan

tugas akhir ini. Dan akhir kata, penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua. Aamiin.

Penyusun

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR NOTASI	xv
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1. LATAR BELAKANG	1
1.2. RUMUSAN MASALAH	2
1.3. BATASAN MASALAH	2
1.4. TUJUAN	3
1.5. MANFAAT	3
1.6. DATA BANGUNAN	3
BAB II	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. PEMBEBANAN	5
2.2. KOMBINASI PEMBEBANAN	10
2.3. PERENCANAAN STRUKTUR BETON	12
2.3.1. PLAT	12
2.4.2. BALOK	16
2.4.3. TANGGA DAN BORDES	21
2.4.4. KOLOM	22

4.5.1.2.	PENULANGAN LENTUR BALOK.....	113
4.5.1.3.	PENULANGAN GESER BALOK.....	135
4.5.1.4.	PANJANG PENYALURAN TUL.BALOK.....	143
4.5.1.5.	KONTROL RETAK.....	147
4.5.2.	PERHITUNGAN BALOK INDUK ARAH X.....	151
4.5.2.1.	PERHITUNGAN PENULANGAN PUNTIR.....	156
4.5.2.2.	PENULANGAN LENTUR BALOK.....	160
4.5.2.3.	PENULANGAN GESER BALOK.....	182
4.5.2.4.	PANJANG PENYALURAN TUL. BALOK.....	191
4.5.2.5.	KONTROL RETAK.....	195
4.5.3.	PERHITUNGAN BALOK ANAK (ARAH X)	198
4.5.3.1.	PERHITUNGAN PENULANGAN PUNTIR.....	204
4.5.3.2.	PENULANGAN LENTUR BALOK.....	206
4.5.3.3.	PENULANGAN GESER BALOK.....	229
4.5.3.4.	PANJANG PENYALURAN TUL.BALOK.....	237
4.5.3.5.	KONTROL RETAK.....	241
4.6.	PERHITUNGAN KOLOM.....	244
4.6.1.	PENULANGAN LENTUR KOLOM	244
4.6.2.	PENULANGAN GESER KOLOM.....	262
4.7.	PERHITUNGAN PENULANGAN SLOOF.....	270
4.7.1.	PENULANGAN TORSI SLOOF.....	274
4.7.2.	PENULANGAN LENTUR SLOOF	275
4.7.3.	PENULANGAN GESER SLOOF.....	279
4.7.4.	PANJANG PENYALURAN TULANGAN SLOOF	286
4.8.	PERHITUNGAN TIANG PANCANG DAN POER	291
4.8.1.	PERHITUNGAN TIANG PANCANG DAN POER	291

4.8.1.1.	PERHITUNGAN DAYA DUKUNG PONDASI TUNGGAL	292
4.8.1.2.	PERHITUNGAN KEBUTUHAN TIANG PANCANG	293
4.8.1.3.	PERHITUNGAN DAYA DUKUNG PILE BERDASARKAN EFISIENSI	295
4.8.1.4.	PENULANGAN LENTUR PILE CAP (POER).....	313
BAB V	318
PENUTUP	319
5.1.	KESIMPULAN	319

2.4.5. PONDASI.....	25
BAB III.....	29
METODOLOGI	29
3.1. METODE PERENCANAAN.....	29
3.1.1 PENGUMPULAN DATA.....	29
3.1.2 PRELIMINARY DESAIN	29
3.1.3 PERHITUNGAN PEMBEBANAN	30
3.1.4 CEK SYARAT.....	31
3.1.5 GAMBAR RENCANA	31
3.1.6. FLOW CHART PERHITUNGAN STRUKTUR.....	32
BAB IV	39
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	39
4.1. PERENCANAAN DIMENSI STRUKTUR.....	39
4.1.1. PERENCANAAN DIMENSI BALOK	39
4.1.2. PERENCANAAN DIMENSI KOLOM	42
4.1.3. PERENCANAAN DIMENSI SLOOF	43
4.1.4. PERENCANAAN DIMENSI PELAT.....	45
4.2. PERHITUNGAN PENULANGAN PELAT	51
4.3. PERHITUNGAN TANGGA.....	78
4.3.1. PERENCANAAN DIMENSI TANGGA	78
4.3.2. PEMBEBANAN TANGGA DAN BORDES.....	80
4.3.3. PENULANGAN PELAT TANGGA.....	81
4.4. PERENCANAAN STRUKTUR PRIMER	89
4.4.1. PERHITUNGAN BEBAN GEMPA	89
4.5. PERHITUNGAN BALOK.....	104
4.5.1. PERHITUNGAN BALOK INDUK (ARAH Y)	104
4.5.1.1. PERHITUNGAN PENULANGAN PUNTIR.....	110

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Tabel Faktor Keutamaan dan Kategoti Risiko Struktur Bangunan berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 4.1.2.....	6
Tabel 2. 2. Tabel Faktor Keutamaan Gempa.....	7
Tabel 2. 3. Tabel Faktor Amplifikasi Getaran Terkait Percepatan pada Getaran Perioda Pendek (F_a)	8
Tabel 2. 4. Tabel Faktor Amplifikasi Terkait Percepatan yang Mewakili Getaran Perioda 1 Detik (F_v)	9
Tabel 2. 5. Tabel Perhitungan Momen-momen pada Pelat	14
Tabel 2. 6. Tebal Minimum Plat tanpa Balok Interior	16
Tabel 4. 1. Daftar dimensi struktur.....	44
Tabel 4. 2. Perhitungan beban gempa rencana	89
Tabel 4. 3. Berat Bangunan x Tinggi Antar Tingkat	98
Tabel 4. 4. Distribusi Gempa.....	100
Tabel 4. 5. Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir.....	144
Tabel 4. 6. Tabel Penulangan Balok Induk Arah Y	149
Tabel 4. 7. Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir...	192
Tabel 4. 8. Penulangan Balok Induk Arah X.....	196
Tabel 4. 9. Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir....	238
Tabel 4. 10. Penulangan Balok Anak	242
Tabel 4. 11. Panjang Penyaluran tulangan kolom kondisi tarik	268
Tabel 4. 12. Harga Indeks Penyaluran Tulangan	268
Tabel 4. 13. Harga Indeks Penyaluran Tulangan	269
Tabel 4. 14. Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir.	286
Tabel 4. 15. Diameter Pembengkokan Tulangan	289
Tabel 4. 16. Penulangan Sloof.....	290
Tabel 4. 17. Tabel Hasil Uji SPT	292
Tabel 4. 18. Perhitungan Jarak X dan Y Poer	305
Tabel 4. 19. Tabel Perhitungan Jarak X dan Y Poer	308
Tabel 4. 20. Tabel Perhitungan Jarak X dan Y Poer	311

“halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Potongan A-A Bangunan SMA Muhammadiyah ...3	
Gadung Surabaya	4
Gambar 2. 1. Gambar Perencanaan Pelat Satu Arah	13
Gambar 2. 2. Gambar Perencanaan Pelat Dua Arah	15
Gambar 2. 3. Gambar Komponen Struktur Bergoyang dan Tidak Bergoyang	23
Gambar 4. 1. Gambar Pelat Asumsi Jepit penuh	51
Gambar 4. 2. Pelat Lantai Tipe E	54
Gambar 4. 3. Pelat Lantai Tipe G	63
Gambar 4. 4. Asumsi Tinggi Manfaat Pelat d_x dan d_y	64
Gambar 4. 5. Pelat Lantai Tipe B	69
Gambar 4. 6. Asumsi Tinggi Manfaat Pelat d_x dan d_y	70
Gambar 4. 7. Denah Rencana Tangga	78
Gambar 4. 8. Gambar Detail Tangga	79
Gambar 4. 9. Potongan Pelat Tangga	81
Gambar 4. 10. Gambar Penulangan Tangga	87
Gambar 4. 11. Grafik Respon Spektrum Periode Ulang Gempa 500 Tahun	96
Gambar 4. 12. Denah Balok yang Ditinjau	105
Gambar 4. 13. Penulangan Balok	105
Gambar 4. 14. Gaya Geser Rencana Komponen Balok pada SRPMM	108
Gambar 4. 15. Luasan A_{cp} dan P_{cp}	109
Gambar 4. 16. Perencanaan Geser Desain untuk SRPMM	135
Gambar 4. 17. Diagram Gaya Geser pada Balok	138
Gambar 4. 18. Luasan A_{cp} dan P_{cp}	152

Gambar 4. 19. Gaya Geser Rencana Komponen Balok pada SRPMM.....	155
Gambar 4. 20. Luasan Acp dan Pcp	155
Gambar 4. 21. Perencanaan Geser Desain Untuk SRPMM.....	182
Gambar 4. 22. Diagram gaya geser pada balok	186
Gambar 4. 23. Denah Balok yang Ditinjau	199
Gambar 4. 24. Luasan Acp dan Pcp	199
Gambar 4. 25. Gaya Geser Rencana Komponen Balok pada SRPMM.....	202
Gambar 4. 26. Luasan Acp dan Pcp	203
Gambar 4. 27. Perencanaan Geser Desain Untuk SRPMM.....	229
Gambar 4. 28. Diagram gaya geser pada balok	232
Gambar 4. 29. Denah Kolom Yang Ditinjau	245
Gambar 4. 30. Faktor Panjang Efektif	251
Gambar 4. 31. Grafik Diagram Interaksi F400-25-0,8-4	255
Gambar 4. 32. Grafik Akibat Momen pada PCACOL	260
Gambar 4. 33. Output PCACOL	261
Gambar 4. 34. Gaya Lintang Rencana pada SRPMM	262
Gambar 4. 35. Penulangan Kolom.....	269
Gambar 4. 36. Denah Sloof yang Ditinjau	271
Gambar 4. 37. Gambar luasan Acp dan keliling Pcp.....	274
Gambar 4. 38. Diagram Interaksi F-400-25-0,8-2	276
Gambar 4. 39. Diagram Gaya Geser Pada Sloof	281
Gambar 4. 40. Penampang Poer Tipe P1	294
Gambar 4. 41. Gambar Bidang Kritis Pons Satu Arah	297
Gambar 4. 42. Gambar Bidang Kritis Pons Dua Arah	298
Gambar 4. 43. Penampang Poer Tipe P1	305
Gambar 4. 44. Penampang poer tipe P1	308
Gambar 4. 45. Penampang poer tipe P1	311

DAFTAR NOTASI

A_m	= Percepatan respons maksimum atau Faktor Respons Gempa Maksimum pada Spektrum Respons Gempa Rencana.
A_o	= Percepatan puncak muka tanah akibat pengaruh gempa rencana.
A_p	= Luas penampang ujung tiang.
A_r	= Pembilang dalam persamaan hiperbola Faktor Respons Gempa C.
A_s	= Luas tulangan tarik non-prategang, mm ²
$A_{s_{min}}$	= Luas minimum tulangan lentur, mm ²
A_{st}	= Luas total tulangan longitudinal (batang tulangan atau baja profil), mm ²
A_s'	= Luas tulangan tekan, mm ²
B	= Lebar pondasi
B	= Lebar muka tekan komponen struktur, mm
b_o	= Keliling dari penampang kritis pada pelat dan fondasi telapak
b_w (mm)	= Lebar badan balok atau diameter penampang bulat (mm)
C	= Faktor respons gempa dinyatakan dalam percepatan gravitasi.
C_1	= Nilai faktor respons gempa yang didapat dari spektrum respons gempa rencana untuk waktu getar alami fundamental dari struktur gedung.
D	= Kedalaman dasar pondasi.
d	= Jarak dari serat tekan terluar terhadap titik berat tulangan Tarik.
d'	= Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tekan
db	= Diameter nominal batang tulangan, kawat, atau strand prategang.
DL	= Dead Load (beban mati)
e	= Eksentrisitas gaya terhadap sumbu (mm)
E	= Pengaruh beban gempa.

P_c	= Baban kritis (N)
P_n	= Kuat beban aksial nominal pada eksentrisitas yang diberikan.
P_u	= Beban aksial terfaktor pada eksentrisitas yang diberikan.
q	= Beban merata (kg/m)
q'	= Tekanan pada pondasi (kg/m)
Q_p	= Kapasitas ujung tiang.
Q_s	= Kapasitas selimut tiang
Q_u	= daya dukung ultimate (ton)
Q_p	= daya dukung ujung tiang.
Q_s	= daya dukung selimut tiang.
qc_1	= Nilai q_c rata-rata pada 0.7 B-4B di bawah ujung tiang
qc_2	= Nilai q_c rata-rata pada ujung tiang 8 B di atas ujung tiang.
R	= Faktor reduksi gempa.
S	= Jarak sengkang (mm)
S_{max}	= Jarak maksimum sengkang yang diijinkan (mm)
SNI	= Standar nasional Indonesia.
$SRPMM$	= Sistem rangka pemikul momen menengah.
T_c	= Kuat momen torsi nominal yang disumbangkan oleh beton (N-mm)
T_n	= Kuat torsi nominal (N-mm)
T_s	= Kuat momen torsi nominal yang disumbangkan oleh beton (N-mm)
T_u	= Momen torsi terfaktor pada penampang (N-mm)
U	= Faktor pembebanan
V_c	= Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton (N)
V_n	= Kuat geser nominal (N)
V_s	= Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser (N)
V_u	= Gaya geser terfaktor pada suatu penampang (N)
V_t	= Gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisis ragam spektrum respons yang telah dilakukan.
W	= Beban Angin (kg)

- W_i = Berat lantai tingkat tingkat ke-i struktur atas gedung .
 W_t = Berat total gedung
 W_u = Beban terfaktor per meter panjang.
 x = Dimensi pendek dari bagian berbentuk persegi dari penampang (mm)
 y = Dimensi panjang dari bagian berbentuk persegi dari penampang (mm)
 x_1 = Jarak dari pusat ke pusat yang pendek dari sengkang tertutup (mm)
 y_1 = Jarak dari pusat ke pusat yang panjang dari sengkang tertutup (mm)
- α = Rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur suatu pelat dengan lebar yang dibatasi dalam arah lateral oleh sumbu dari panel yang bersebelahan (bila ada) pada tiap sisi dari balok
 α_m = Nilai rata-rata α untuk semua balok tepi dari suatu panel
 β_d = Rasio beban mati aksial terfaktor maksimum terhadap beban aksial terfaktor, dimana beban yang ditinjau hanyalah beban gravitasi dalam menghitung P_c
 β_c = Perbandingan sisi kolom terpanjang dengan sisi kolom terpendek
 ρ = Rasio tulangan tarik non pratekan
 ρ_b = Rasio tulangan tarik non pratekan
 ρ_{max} = Rasio tulangan tarik maksimum
 ρ_{min} = Rasio tulangan tarik minimum
 ρ' = Rasio tulangan tekan pada penampang bertulangan ganda
 θ = Faktor reduksi kekuatan
 ζ = Tegangan ijin baja (kg/cm²)
 ζ_o = Tegangan yang terjadi pada suatu penampang (kg/cm²)
 η = Tegangan geser yang diijinkan (kg/cm²)
 η_o = Tegangan geser pada suatu penampang (kg/cm²)

E_c	= Modulus elastisitas beton (MPa)
E_s	= Modulus elastisitas baja tulangan (MPa)
EI	= Kekuatan lentur komponen struktur tekan.
f	= Lendutan yang diijinkan (mm)
f_c'	= Kekuatan tekan beton (MPa)
f_y	= Kuat leleh baja yang disyaratkan (MPa)
h	= Tebal atau tinggi total komponen struktur (mm)
I	= Momen inersia penampang yang menahan beban luar
terfaktor (mm ⁴)	
I_x	= Momen inersia terhadap sumbu x (mm ⁴)
I_y	= Momen inersia terhadap sumbu y (mm ⁴)
I_g	= Momen inersia penampang bruto terhadap garis sumbunya dengan mengabaikan tulangannya (mm ⁴)
k	= Faktor panjang efektif komponen struktur tekan
l	= Panjang bentang balok (mm)
l_d	= Panjang penyaluran (mm)
LL	= Live Load (beban hidup)
M_c	= Momen terfaktor yang digunakan untuk perencanaan komponen struktur tekan.
M_u	= Momen terfaktor pada penampang, N-mm
M_1	= Momen ujung terfaktor yang lebih kecil pada komponen tekan; bernilai positif bila komponen struktur melentur dengan kelengkungan tunggal, negatif bila komponen struktur melentur dengan kelengkungan ganda, N-mm
M_2	= Momen ujung terfaktor yang lebih besar pada komponen struktur tekan; selalu bernilai positif, N-mm
M_{tx}	= Momen tumpuan arah sumbu x (N-mm)
M_{ty}	= Momen tumpuan arah sumbu y (N-mm)
M_{lx}	= Momen lapangan arah sumbu x (N-mm)
M_{ly}	= Momen lapangan arah sumbu y (N-mm)
N	= Nilai SPT pada ujung tiang
N_{av}	= rata-rata nilai SPT sepanjang tiang
P_b	= Kuat beban aksial nominal dalam kondisi regangan seimbang (N)

- δ_b = Faktor pembesar momen untuk rangka yang ditahan terhadap goyangan ke samping, untuk menggambarkan pengaruh kelengkungan komponen struktur diantara ujung-ujung komponen struktur tekan
- δ_b = Faktor pembesar momen untuk rangka yang tidak ditahan terhadap goyangan ke samping, untuk menggambarkan penyimpangan lateral akibat beban lateral dan gravitasi
- ε = Regangan (mm)
- θ = Faktor reduksi untuk beton
- ω = Faktor penampang

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Dalam perencanaan sebuah gedung, khususnya gedung bertingkat harus memperhatikan beberapa kriteria yaitu struktur bangunan dan lokasi gedung tersebut. Secara garis besar, SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah) merupakan suatu metode perencanaan struktur yang minitik beratkan kewaspadaannya terhadap kegagalan struktur akibat keruntuhan geser.

Pada SNI 03-2847-2002 (Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung), SRPMM dijelaskan secara tersendiri pada pasal 23.10. Pada pasal tersebut, dijelaskan ketentuan-ketentuan untuk SRPMM meliputi detail tulangan, perhitungan kuat geser dan lentur pada struktur bangunan, dan kemampuan penampang.

Struktur utama gedung ini merupakan sistem struktur rangka beton bertulang. Pada Tugas Akhir ini, gedung tersebut direncanakan dengan metode SRPMM serta perhitungan gaya gempa berdasarkan SNI 1726 : 2012. Struktur gedung yang direncanakan adalah Gedung SMA Muhammadiyah 3 Gadung Surabaya yang berfungsi sebagai gedung pendidikan. Gedung SMA Muhammadiyah 3 Gadung Surabaya memiliki 4 lantai yang dibangun di Jalan Gadung III no.7 ,Surabaya. Pada struktur atap menggunakan rangka baja, tapi pada Tugas Akhir ini perencanaan struktur atap menggunakan dek beton karena Tugas Akhir ini memfokuskan perhitungan struktur bangunan beton bertulang. Perencanaan gempa Gedung SMA Muhammadiyah 3 Gadung Surabaya

menggunakan periode ulang gempa 500 tahun yang didasarkan pada peraturan *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung SNI 1726-2012* dan *Peta Hazard Gempa Indonesia 2010*.

1.2. RUMUSAN MASALAH

Rumusan masalah untuk proyek akhir ini adalah :

1. Bagaimana merencanakan dan menghitung struktur gedung SMA Muhammadiyah 3 Gadung Surabaya dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).
2. Bagaimana merencanakan dan menghitung gedung SMA Muhammadiyah 3 Gadung Surabaya sesuai dengan SNI 1726 : 2012.
3. Bagaimana menuangkan hasil perhitungan struktur ke dalam gambar teknik.

1.3. BATASAN MASALAH

Didalam penyusunan Tugas Akhir ini yang menjadi batasan masalah dalam perencanaan Struktur Gedung ini adalah :

1. Perencanaan Struktur Gedung ini tidak memperhitungkan anggaran biaya dalam segi struktur bangunan.
2. Perencanaan bangunan meliputi :
 - Struktur atap : Dek beton.
 - Struktur atas : Kolom, balok, tangga dan plat lantai.
 - Struktur bawah : Poer, sloof, dan tiang pancang.
3. Perhitungan beban gempa menggunakan peraturan SNI Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2012).

4. Portal yang dihitung penulangannya adalah satu buah portal melintang dan satu buah portal memanjang, yaitu :

- a. Portal memanjang : Portal 2
- b. Portal melintang : Portal C

1.4. TUJUAN

Tujuan penyusunan Tugas Akhir ini adalah :

1. Dapat merencanakan struktur gedung SMA Muhamadiyah 3 Gadung Surabaya dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).
2. Dapat merencanakan struktur gedung SMA Muhamadiyah 3 Gadung Surabaya sesuai dengan SNI Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung (SNI 1726:2012).
3. Mampu menuangkan hasil perhitungan struktur ke dalam gambar teknik.

1.5. MANFAAT

Manfaat penyusunan Tugas Akhir ini adalah :

1. Mahasiswa dapat merencanakan struktur gedung bertingkat dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).
2. Mahasiswa dapat merencanakan struktur gedung bertingkat sesuai dengan SNI Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung (SNI 1726:2012) , SNI 2847 : 2002 dan Peta Hazard Gempa Indonesia 2010.

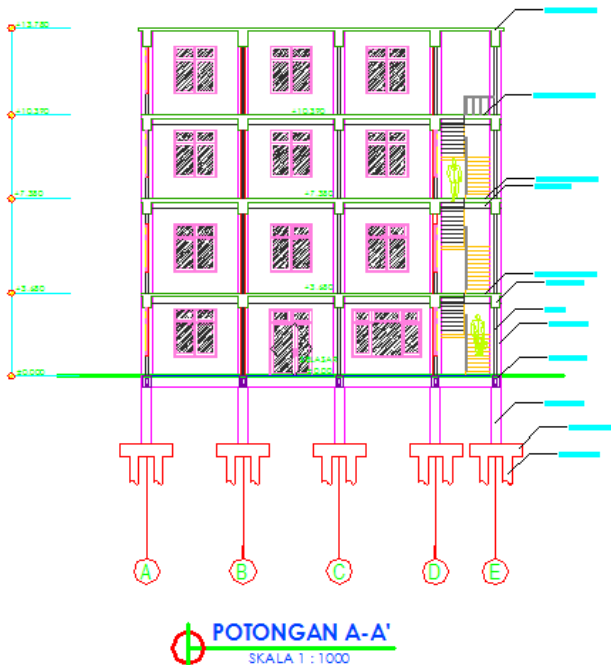
1.6. DATA BANGUNAN

Tugas akhir ini, gedung yang direncanakan adalah :

1. Nama Gedung :

Gedung SMA Muhammadiyah 3 Gedung
Surabaya

2. Lokasi Proyek :
Jalan Gadung III no.7, Surabaya.
3. Pemilik Proyek : Pemerintah Kota Surabaya.
4. Struktur Atap : Deck beton
5. Struktur bangunan atas :
Lantai 1 s/d 4 menggunakan beton bertulang.
6. Struktur bangunan bawah :
Pondasi Tiang Pancang



**Gambar 1. 1. Potongan A-A Bangunan SMA
Muhammadiyah 3 Gadung Surabaya**

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. PEMBEBANAN

Dalam perencanaan bangunan ada beberapa jenis beban yang ditinjau berdasarkan *PPIUG 1983*, yaitu :

- Beban Mati (**PASAL 1.0.1**) : berat dari semua bagian suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu.
- Beban Hidup (**PASAL 1.0.2**) : semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan ke dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut.
- Beban Angin (**PASAL 1.0.3**) : semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara. Merujuk pada peraturan **PPIUG pasal 4.4.1**, pada gedung tertutup dan rumah tinggal dengan tinggi yang tidak lebih dari 16m, dengan lantai-lantai dan dinding-dinding yang memberikan kekakuan yang cukup, struktur utamanya tidak perlu diperhitungkan terhadap beban angin.
- Beban Gempa (**PASAL 1.0.4**) : Semua beban statik ekwivalen yang bekerja pada gedung atau bagian

gedung. Beban gempa yang dimaksud adalah gaya-gaya di dalam struktur tersebut yang terjadi oleh pergerakan tanah akibat gempa.

Perhitungan Gempa menggunakan metode SRPMM dengan periode ulang gempa 500 tahun:

- a. Melihat data tanah pada bangunan tersebut yang nantinya akan menentukan Klas Situs Tanah tersebut (diambil 30 meter sesuai SNI 1726-2012 6.1.2).
- b. Faktor keutamaan dan kategori risiko struktur bangunan yang terdapat pada SNI 1726-2012, Pasal 4.1.2 tabel 1.

Tabel 2. 1. Tabel Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 4.1.2

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung yang ditujukan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> > Bangunan - bangunan monumental > Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan > Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat > Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya > Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat 	IV

> Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat

> Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat

Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk kedalam kategori risiko IV.

- c. Faktor keutamaan gempa yang terdapat pada SNI 1726-2012, Pasal 4.1.2 tabel 2

Tabel 2. 2. Tabel Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

- d. Menentukan nilai S_s , sesuai dengan *Peta Hazard Gempa Indonesia 2010*.
 S_s merupakan percepatan batuan dasar pada periode pendek.
- e. Menentukan nilai S_1 , sesuai dengan *Peta Hazard Gempa Indonesia 2010*.
 S_1 merupakan percepatan batuan dasar pada periode 1 detik.

- f. Faktor amplikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek (F_a) yang terdapat pada SNI 1726-2012, Pasal 6.2 tabel 4.

Tabel 2. 3. Tabel Faktor Amplifikasi Getaran Terkait Percepatan pada Getaran Perioda Pendek (F_a)

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T=0,2$ detik S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
<i>SA</i>	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
<i>SB</i>	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
<i>SC</i>	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
<i>SD</i>	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
<i>SE</i>	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
<i>SF</i>	SS^D				

CATATAN :

- ✓ Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier.
- ✓ SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik.

- g. Faktor amplikasi terkait percepatan yang mewakili getaran perioda 1 detik (F_v) yang terdapat pada SNI 1726-2012, Pasal 6.2 tabel 5.

Tabel 2. 4. Tabel Faktor Amplifikasi Terkait Percepatan yang Mewakili Getaran Perioda 1 Detik (F_v)

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
<i>SA</i>	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
<i>SB</i>	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
<i>SC</i>	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
<i>SD</i>	2,4	2	1,8	1,6	1,5
<i>SE</i>	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
<i>SF</i>	SS^D				

CATATAN :

- ✓ Untuk nilai-nilai antara S_1 dapat dilakukan interpolasi linier.
 - ✓ SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik.
- h. Faktor Reduksi Gempa yang terdapat pada SNI 1726-2012, tabel 9. Gedung yang direncanakan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), sehingga didapatkan nilai minimum reduksi gempa $R = 5$.
 - i. Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek (S_{MS}) = $F_a S_s$ yang terdapat pada SNI 1726-2012, Pasal 6.2 persamaan 5.
 - j. Parameter spektrum respons percepatan pada perioda 1 detik (S_{M1}) = $F_v S_1$ yang terdapat pada SNI 1726-2012, Pasal 6.2 persamaan 6.

- k. Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek, $S_{DS} = 2/3 S_{MS}$ yang terdapat pada SNI 1726-2012, Pasal 6.3 persamaan 7.
- l. Parameter percepatan spektral desain untuk perioda 1 detik, $S_{D1} = 2/3 S_{M1}$ yang terdapat pada SNI 1726-2012, Pasal 6.3 persamaan 8. Jika digunakan prosedur desain yang disederhanakan sesuai pasal 8, maka nilai S_{DS} harus ditentukan sesuai Pasal 8.8.1 dan nilai S_{D1} tidak perlu ditentukan.
- m. Spektrum Respons Desain yang terdapat pada SNI 1726-2012, Pasal 6.4 persamaan 9. Bila desain respon spektrum diperlukan oleh tata cara ini prosedur gerak tanah dari spesifik itu tidak digunakan, maka kurva desain respon spektrum harus dikembangkan dengan mengacu Gambar 1 dan mengikuti ketentuan dibawah ini :
 1. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spectrum respons percepatan desain S_a harus diambil dari persyaratan :

$$S_a = S_{DS} (0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0}) \dots\dots\dots (2.01)$$
 2. Untuk periode yang lebih besar dari T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spectrum respons percepatan desain S_a , sama dengan S_{DS} .
 3. Untuk periode yang lebih besar dari T_s , percepatan desain respon spectrum S_a , diambil dari persamaan SNI 1726-2012, Pasal 6.4 persamaan 10.

$$S_a = S_{D1}/T \dots\dots\dots (2.02)$$

2.2. KOMBINASI PEMBEBANAN

Persyaratan kekuatan dan kemampuan layan harus didesain agar mempunyai kekuatan desain di semua penampang paling sedikit sama dengan kekuatan perlu

yang dihitung untuk beban dan gaya terfaktor dalam kombinasi pembebanan yang sudah ditetapkan dalam SNI 1726-2012.

Kekuatan perlu U harus paling tidak sama dengan pengaruh beban terfaktor. Pengaruh salah satu atau lebih beban yang tidak bekerja secara serentak harus diperiksa (beban salju dalam persamaan-persamaan dibawah ini dihapus karena tidak relevan).

Lingkup penerapan struktur bangunan gedung dan non gedung harus dirancang menggunakan kombinasi pembebanan untuk metoda ultimit dan kombinasi pembebanan untuk metoda tegangan ijin.

1. Kombinasi pembeban untuk metoda ultimit yang sudah ditetapkan dalam SNI 1726-2012, Pasal 4.2.2, meliputi :

$$U = 1.4D$$

$$U = 1.2D + 1.6L + 0.5 (L \text{ atau } R)$$

$$U = 1.2D + 1.6 (L \text{ atau } R) + (1.0L \text{ atau } 0.5W)$$

$$U = 1.2D + 1.0W + 1.0L + 0.5 (L \text{ atau } R)$$

$$U = 1.2D + 1.0E + 1.0L$$

$$U = 0.9D + 1.0W$$

$$U = 0.9D + 1.0E$$

2. Kombinasi pembeban untuk metoda tegangan ijin yang sudah ditetapkan dalam SNI 1726-2012, Pasal 4.2.3, meliputi :

$$U = D$$

$$U = D + L$$

$$U = D + (L \text{ atau } R)$$

$$U = D + 0.75L + 0.75(L \text{ atau } R)$$

$$U = D + (0.6W \text{ atau } 0.7E)$$

$$U = D + 0.75(0.6W \text{ atau } 0.7E) + 0.75L + 0.75(L \text{ atau } R)$$

$$U = 0.6D + 0.6W$$

$$U = 0.6D + 0.7E$$

2.3. PERENCANAAN STRUKTUR BETON

2.3.1. PLAT

Untuk merencanakan plat perlu menghitung tebal plat terlebih dahulu kemudian menghitung penulangannya.

- a. Perencanaan tebal plat dengan balok yang membentang di antara tumpuan pada semua sisinya, tebal minimumnya (h), harus memenuhi ketentuan sebagai berikut sesuai dengan SNI 2847-2013, Tabel 9.5.3.3 persamaan 9-12 :

- Untuk α_{fm} yang sama atau tidak lebih kecil dari 0,2 harus menggunakan 9.5.3.2;
- Untuk α_{fm} lebih besar dari 0,2 tapi tidak lebih besar dari 2,0, (h) tidak boleh kurang dari :

$$h = \frac{\ln(0,8 + \frac{fy}{1400})}{36 + 5\beta (\alpha_{fm} - 0,2)} \dots\dots\dots (2.03)$$

Dan tidak boleh kurang dari 125mm.

- Untuk α_{fm} lebih besar dari 2,0, ketebalan plat minimum tidak boleh kurang dari, sesuai dengan SNI 2847-2013, Tabel 9.5.3.3 persamaan 9-13.

$$h = \frac{\ln(0,8 + \frac{fy}{1400})}{36 + 9\beta} \dots\dots\dots (2.04)$$

Dan tidak boleh kurang dari 90mm.

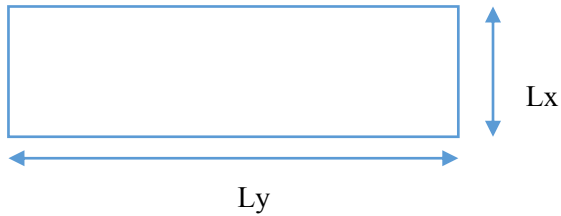
- b. Untuk merencanakan penulangan plat didasarkan pada perencanaan plat satu arah dan plat dua arah :

- **Perencanaan pelat satu arah (*one way slab*)**

Pelat satu arah terjadi apabila $\frac{Ly}{Lx} > 2$ dimana

Lx : bentang terpendek

Ly : bentang terpanjang



Gambar 2. 1. Gambar Perencanaan Pelat Satu Arah

Maka perhitungan plat satu arah sama dengan perhitungan balok.

$$\text{Mu (lapangan)} = 1/16 \times q_u \times L_y^2$$

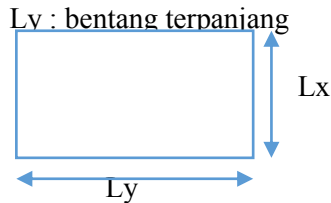
$$\text{Mu (tumpuan)} = 1/24 \times q_u \times L_y^2$$

Tabel 2. 5. Tabel Perhitungan Momen-momen pada Pelat

Tipe Pelat	Momen	ly / lx																	
		1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	>2.5	
	$M_{lx} = +0.001 q l_x^2 X$	44	52	59	66	73	78	84	88	93	97	100	103	106	108	110	112	125	
	$M_{ly} = +0.001 q l_y^2 X$	44	45	45	44	44	43	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	25	
	$M_{lx} = +0.001 q l_x^2 X$	21	25	28	31	34	36	37	38	40	40	41	41	41	42	42	42	42	
	$M_{ly} = +0.001 q l_y^2 X$	21	21	20	19	18	17	16	14	13	12	12	11	11	11	10	10	8	
	$M_{lc} = +0.001 q l_x^2 X$	52	59	64	69	73	76	79	81	82	83	83	83	83	83	83	83	83	
	$M_{lc} = +0.001 q l_y^2 X$	52	54	56	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	
	$M_{lx} = +0.001 q l_x^2 X$	28	33	38	42	45	48	51	53	55	57	58	59	59	60	61	61	63	
	$M_{ly} = +0.001 q l_y^2 X$	28	28	28	27	26	25	23	23	22	21	19	18	17	17	16	16	13	
	$M_{lc} = +0.001 q l_x^2 X$	68	77	85	92	98	103	107	111	113	116	118	119	120	121	122	122	125	
	$M_{lc} = +0.001 q l_y^2 X$	68	72	74	76	77	77	78	78	78	78	79	79	79	79	79	79	79	
	$M_{lx} = +0.001 q l_x^2 X$	22	28	34	42	49	55	62	68	74	80	85	89	93	97	100	103	125	
	$M_{ly} = +0.001 q l_y^2 X$	32	35	37	39	40	41	41	41	41	40	39	38	37	36	35	35	25	
	$M_{lc} = +0.001 q l_x^2 X$	70	79	87	94	100	105	109	112	115	117	119	120	121	122	123	123	125	
	$M_{ly} = +0.001 q l_y^2 X$	32	34	36	38	39	40	41	41	42	42	42	42	42	42	42	42	42	
	$M_{lc} = +0.001 q l_x^2 X$	22	20	18	17	15	14	13	12	11	10	10	10	9	9	9	9	8	
	$M_{lc} = +0.001 q l_y^2 X$	70	74	77	79	81	82	83	84	84	84	84	84	83	83	83	83	83	
	$M_{lc} = +0.001 q l_x^2 X$	31	38	45	53	60	66	72	78	83	88	92	96	99	102	105	108	125	
	$M_{ly} = +0.001 q l_y^2 X$	37	39	41	41	42	42	41	41	40	39	38	37	36	35	34	33	25	
	$M_{lc} = +0.001 q l_x^2 X$	84	92	99	104	109	112	115	117	119	121	122	122	123	123	124	124	125	
	$M_{lx} = +0.001 q l_x^2 X$	37	41	45	48	51	53	55	56	58	59	60	60	60	61	61	62	63	
	$M_{ly} = +0.001 q l_y^2 X$	31	30	28	27	25	24	22	21	20	19	18	17	17	16	16	15	13	
	$M_{lc} = +0.001 q l_x^2 X$	84	92	98	103	108	111	114	117	119	120	121	122	122	123	123	124	125	
	$M_{lx} = +0.001 q l_x^2 X$	21	26	31	36	40	43	46	49	51	53	55	56	57	58	59	60	63	
	$M_{ly} = +0.001 q l_y^2 X$	26	27	28	28	27	26	25	23	22	21	21	20	20	19	19	18	13	
	$M_{lc} = +0.001 q l_x^2 X$	55	65	74	82	89	94	99	103	106	110	114	116	117	118	119	120	125	
	$M_{lc} = +0.001 q l_y^2 X$	60	65	69	72	74	76	77	78	78	78	78	78	78	78	78	79	79	
	$M_{lx} = +0.001 q l_x^2 X$	26	29	32	35	36	38	39	40	40	41	41	42	42	42	42	42	42	
	$M_{ly} = +0.001 q l_y^2 X$	21	20	19	18	17	15	14	13	12	12	11	11	10	10	10	10	8	
	$M_{lc} = +0.001 q l_x^2 X$	60	66	71	74	77	79	80	82	83	83	83	83	83	83	83	83	83	
	$M_{lc} = +0.001 q l_y^2 X$	55	57	57	57	58	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	
Keterangan :		————— = Tergantung bebas																	
		= Tergantung penuh																	

Perencanaan pelat dua arah (*two way slab*)

Pelat satu arah terjadi apabila $\frac{L_y}{L_x} < 2$ dimana L_x :
bentang terpendek



Gambar 2. 2. Gambar Perencanaan Pelat Dua Arah
Maka perhitungan plat dua arah menggunakan
tabel 13.3.1 PBI-1971

c. Perhitungan penulangan plat harus sesuai dengan SNI 03-2847-2002.

1. Rasio penulangan dapat dihitung dengan menggunakan perumusan sebagai berikut

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots (2.05)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \alpha \beta x f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \dots\dots\dots (2.06)$$

(SNI 03-2847-2002, Pasal 10.4.3)

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b \dots\dots\dots (2.07)$$

(SNI 03-2847-2002, Pasal 12.3.3)

$$m = \frac{f_y}{0,85 \alpha f_c'} \dots\dots\dots (2.08)$$

$$\rho_{\min} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 x m x R_n}{f_y}} \right) \dots\dots\dots (2.09)$$

Jika $\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\min}$ maka ρ_{perlu} dinaikkan 30%

Sehingga $\rho_{\text{pakai}} = 1,3 \times \rho_{\text{perlu}}$

$A_s = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$

2. Kontrol jarak spasi tulangan.

$$S_{\max} < 2 \times \text{tebal plat}$$

(SNI 03-2847-2002, Pasal 15.3.2)

2.4.2. BALOK

1. Lebar pelat efektif sebagai dari sayap balok-T tidak boleh melebihi $1/4$ bentang balok, dan lebar efektif sayap dari masing-masing sisi badan balok tidak boleh melebihi :

- 8 x tebal plat.
- $1/2$ bentang bersih antara balok-balok yang bersebelahan.

(SNI 03-2847-2002, Pasal 10.10.2)

2. Untuk balok yang mempunyai pelat hanya pada satu sisi, lebar efektif sayap dari sisi badan tidak boleh lebih dari :

- $1/12$ bentang balok.
- 6 x tebal plat.
- $1/2$ bentang bersih antara balok-balok yang bersebelahan.

(SNI 03-2847-2002, Pasal 10.10.3)

3. Menentukan lebar dan tinggi balok didasarkan pada tabel 2.6 yang diambil dari SNI 03-2847-2013,

Tabel 2. 6. Tebal Minimum Plat tanpa Balok Interior

	Tabel minimum, <i>h</i>			
Komponen Struktur	Dua Tumpuan Sederhana	Satu Ujung menerus	Kedua Ujung Menerus	Kantilever
	Komponen yang tidak disatukan dengan partisi atau kontruksi lain yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat masif satu arah	$1/20$	$1/24$	$1/28$	$1/10$
Balok atau pelat satu arah	$1/16$	$1/18, 5$	$1/21$	$1/8$

-	Panjang bentang dalam mm
-	<p>Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal (Wc = 2400 kg/m³) dan tulangan BJTD 40. Untuk kondisi lain diatas dimodifikasikan sebagai berikut</p> <p>Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis diantara 1500 kg/m³ sampai 2000 kg/m³, nilai tidak harus dikalikan dengan (1,65-0,003 Wc) tetapi tidak kurang dari 1,09, dimana Wc adalah berat jenis dalam Kg/m³</p> <p>Untuk fy selain 400 Mpa, nilainya harus dikalikan dengan (0,4 + fy/700)</p>

4. Persyaratan spasi tulangan sesuai dengan SNI 03-2847-2002.

a. Ukuran maksimum nominal agregat kasar harus tidak melebihi :

- 1/5 jarak terkecil antara sisi-sisi cetakan.
- 1/3 ketebalan pelat lantai.
- 3/4 jarak bersih minimum antara tulangan-tulangan atau kawat-kawat, bundle tulangan atau tendon-tendon prategang atau selongsong-selongsong.

(SNI 03-2847-2002, Pasal 5.3.2)

b. Jarak bersih antar tulangan sejajar dalam lapis yang sama tidak boleh kurang dari d_b ataupun 25mm.

(SNI 03-2847-2002, Pasal 9.6.1)

c. Bila tulangan sejajar tersebut diletakkan dalam dua lapis atau lebih, tulangan lapis atas harus diletakkan tepat di atas tulangan di bawahnya dengan spasi bersih antar lapisan tidak boleh kurang dari 25mm.

(SNI 03-2847-2002, Pasal 9.6.2)

- d. Pada komponen struktur tekan yang diberi tulangan spiral atau sengkang pengikat, jarak bersih antar tulangan longitudinal tidak boleh kurang dari $1.5 d_b$ ataupun 40mm.

(SNI 03-2847-2002, Pasal 9.6.3)

5. Perhitungan penulangan lentur dan torsi pada balok.

- a. Perencanaan kuat lentur perlu
 $M_{u,b} = 1,2M_{D,b} + 1,6M_{L,b}$
 $= 1,2M_{D,b} + 1,6M_{L,b} \pm M_{RS,b}$ dan seterusnya
 $\phi M_{n,b} \geq M_{u,b}$
- b. Perencanaan penulangan lentur didasarkan pada ketentuan-ketentuan SNI 03-2847-2002.
- Kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari 1/3 kuat lentur negative pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari 1/5 kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-kolom kedua ujung komponen struktur tersebut.

(SNI 03-2847-2002, Pasal 23.10.4(1))

- Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali tinggi komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih dari 50mm dari muka perletakan. Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :
 - $d/4$.
 - $8 \times \phi_{tulangan}$ longitudinal terkecil.
 - $24 \times \phi_{sengkang}$, dan
 - 300 mm.

(SNI 03-2847-2002, Pasal 23.10.4(2))

- Senggang harus di pasang sepanjang bentang balok dengan spasi tidak melebihi $d/2$.

(SNI 03-2847-2002, Pasal 23.10.4.(3))

- Langkah perhitungan penulangan balok.
1. Tentukan nilai momen tumpuan dan lapangan pada balok (hasil didapat dari output SAP 2000)
 2. Rencanakan f_y , f_c' , d , d' , d''

$$3. Mn = \frac{Mu}{\phi} \quad (2.10)$$

$$P_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (2.11)$$

$$P_b = \frac{0,8 x \beta x f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \dots\dots\dots (2.12)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 x f_c'} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$x_b = \frac{600}{600 + f_y} x d \dots\dots\dots (2.14)$$

$$d = bw - \text{decking} - \phi_{\text{senggang}} - 1/2 \phi_{\text{tul.utama}} \dots\dots\dots (2.15)$$

$$d' = \text{decking} - \phi_{\text{senggang}} - 1/2 \phi_{\text{tul.utama}}$$

$$Cc = T1 = 0,85 \beta_1 x f_c' x b x X$$

$$A_{BC} = \frac{T1}{f_y} \dots\dots\dots (2.16)$$

$$Mns - Mn - Mnc - \frac{Mu}{\phi} - Mnc.. \quad (2.17)$$

Periksa kebutuhan tulangan senggang, jika :

- a. $(Mn - Mnc) > 0$; perlu tulangan rangkap

$$Cs = T2 = \frac{Mn - Mnc}{d - d'} \dots\dots\dots (2.18)$$

$$Fs' = \left(\frac{x - d'}{x} \right) x 600 \dots\dots\dots (2.19)$$

Jika $f_x' > f_y$ maka tulangan tekan leleh $fs' - f_y$

Jika $f_x' > f_y$ tulangan tekan tidak leleh maka :

$$s = \frac{Cx}{f - 0,85 f_c'} \dots\dots\dots (2.20)$$

$$Ass = \frac{T_2}{f_y} \dots\dots\dots (2.21)$$

Tulangan perlu

$$As = Asc + Ass \dots\dots\dots (2.22)$$

$$A_s = A_s' \dots\dots\dots(2.23)$$

Kontrol jarak spasi tulangan

$$s = \frac{bw - (2x \text{ decking}) - (2x \phi_{tul.sengkang}) - (n x \phi_{tul.utama})}{n-1}$$

Kontrol kekuatan

$$M_n^o \leq \frac{M_u}{\phi}$$

b. $(M_n - M_{nc}) < 0$; tidak perlu tulangan rangkap

$$m = \frac{f_y}{\phi 0,85 x f_{cr}} \dots\dots\dots(2.24)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 x m x R_n}{f_y}} \right) \dots\dots(2.25)$$

Jika $\rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\text{min}}$,maka ρ_{perlu} dinaikkan 30 % sehingga

$$P_{\text{pakai}} = 1,3 x \rho_{\text{perlu}} \dots\dots\dots(2.26)$$

$$A_s = \rho_{\text{perlu}} x b x d \dots\dots\dots(2.27)$$

4. Perhitungan tulangan geser pada balok

a. Kuat geser beton yang dibebani oleh gaya geser dan lentur $\phi V_u \geq V_n$

$$V_u = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + \frac{W_u l_n}{2}$$

(SNI 03-2847-2002, Pasal 13.1.1)

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'c} x \frac{1}{3} x bw x d \dots\dots\dots(2.28)$$

(SNI 03-2847-2002, Pasal 13.3.1.1)

$$V_{Smin} = \frac{1}{3} x bw x d \dots\dots\dots(2.29)$$

$$V_{Smax} = \sqrt{f'c} x \frac{1}{3} x bw x d \dots\dots\dots(2.30)$$

(SNI 03-2847-2002, Pasal 13.5.4.(3))

$$V_s = \frac{A_v x f_y x d}{s} \dots\dots\dots(2.31)$$

(SNI 03-2847-2002, Pasal 13.5.6.(2))

$$A_v \text{ min} = \frac{b x w}{3 f_y} \dots\dots\dots(2.32)$$

(SNI 03-2847-2002, Pasal 13.5.5.(3))

- Senggang harus di pasang sepanjang bentang balok dengan spasi tidak melebihi $d/2$.

(SNI 03-2847-2002, Pasal 23.10.4.(3))

- Langkah perhitungan penulangan balok.
1. Tentukan nilai momen tumpuan dan lapangan pada balok (hasil didapat dari output SAP 2000)
 2. Rencanakan f_y , f_c' , d , d' , d''

$$3. Mn = \frac{Mu}{\phi} \quad (2.10)$$

$$P_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (2.11)$$

$$P_b = \frac{0,8 x \beta x f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \dots\dots\dots (2.12)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 x f_c'} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$x_b = \frac{600}{600 + f_y} x d \dots\dots\dots (2.14)$$

$$d = bw - \text{decking} - \phi_{\text{senggang}} - 1/2 \phi_{\text{tul.utama}} \dots\dots\dots (2.15)$$

$$d' = \text{decking} - \phi_{\text{senggang}} - 1/2 \phi_{\text{tul.utama}}$$

$$Cc = T1 = 0,85 \beta_1 x f_c' x b x X$$

$$A_{BC} = \frac{T1}{f_y} \dots\dots\dots (2.16)$$

$$Mns - Mn - Mnc - \frac{Mu}{\phi} - Mnc.. \quad (2.17)$$

Periksa kebutuhan tulangan senggang, jika :

- a. $(Mn - Mnc) > 0$; perlu tulangan rangkap

$$Cs = T2 = \frac{Mn - Mnc}{d - d'} \dots\dots\dots (2.18)$$

$$Fs' = \left(\frac{x - d'}{x} \right) x 600 \dots\dots\dots (2.19)$$

Jika $f_x' > f_y$ maka tulangan tekan leleh $fs' - f_y$

Jika $f_x' > f_y$ tulangan tekan tidak leleh maka :

$$s = \frac{Cx}{f - 0,85 f_c'} \dots\dots\dots (2.20)$$

$$Ass = \frac{T_2}{f_y} \dots\dots\dots (2.21)$$

Tulangan perlu

$$As = Asc + Ass \dots\dots\dots (2.22)$$

$$A_s = A_s' \dots\dots\dots(2.23)$$

Kontrol jarak spasi tulangan

$$s = \frac{bw - (2x \text{ decking}) - (2x \phi_{tul.sengkang}) - (n x \phi_{tul.utama})}{n-1}$$

Kontrol kekuatan

$$M_n^o \leq \frac{M_u}{\phi}$$

b. $(M_n - M_{nc}) < 0$; tidak perlu tulangan rangkap

$$m = \frac{f_y}{\phi 0,85 x f_{cr}} \dots\dots\dots(2.24)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 x m x R_n}{f_y}} \right) \dots\dots(2.25)$$

Jika $\rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\text{min}}$,maka ρ_{perlu} dinaikkan 30 % sehingga

$$P_{\text{pakai}} = 1,3 x \rho_{\text{perlu}} \dots\dots\dots(2.26)$$

$$A_s = \rho_{\text{perlu}} x b x d \dots\dots\dots(2.27)$$

4. Perhitungan tulangan geser pada balok

a. Kuat geser beton yang dibebani oleh gaya geser dan lentur $\phi V_u \geq V_n$

$$V_u = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + \frac{W_u l_n}{2}$$

(SNI 03-2847-2002, Pasal 13.1.1)

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'c} x \frac{1}{3} x bw x d \dots\dots\dots(2.28)$$

(SNI 03-2847-2002, Pasal 13.3.1.1)

$$V_{Smin} = \frac{1}{3} x bw x d \dots\dots\dots(2.29)$$

$$V_{Smax} = \sqrt{f'c} x \frac{1}{3} x bw x d \dots\dots\dots(2.30)$$

(SNI 03-2847-2002, Pasal 13.5.4.(3))

$$V_s = \frac{A_v x f_y x d}{s} \dots\dots\dots(2.31)$$

(SNI 03-2847-2002, Pasal 13.5.6.(2))

$$A_v \text{ min} = \frac{b x w}{3 f_y} \dots\dots\dots(2.32)$$

(SNI 03-2847-2002, Pasal 13.5.5.(3))

b..... Cek

kondisi

$$1. V_u \leq 0,5 \times \phi \times V_c \text{ (tidak perlu tulangan geser)}$$

$$\dots\dots\dots (2.33)$$

$$2. 0,5 \times \phi \times V_c \leq V_u \leq \phi \times V_c \text{ (perlu tulangan geser minimum)}$$

$$(V_{S_{\text{perlu}}} = V_{S_{\text{min}}}) \dots\dots\dots (2.34)$$

$$3. \phi \times V_c < V_u \leq (\phi \times V_c + \phi \times V_{S_{\text{min}}})$$

$$\text{(perlu tulangan geser minimum)}$$

$$(V_{S_{\text{min}}} = V_{S_{\text{min}}}) \dots\dots\dots (2.35)$$

$$4. (\phi \times V_c + \phi \times V_{S_{\text{min}}}) < V_u < (\phi \times V_c + \phi \times V_{S_{\text{max}}})$$

$$\text{(perlu tulangan geser minimum)}$$

$$(\phi V_{S_{\text{perlu}}} = V_u - \phi V_c) \dots\dots\dots (2.36)$$

$$5. (\phi V_c + \phi \times V_{S_{\text{max}}}) < V_u \leq (\phi V_c + 2\phi \times V_{S_{\text{max}}})$$

$$(\phi V_{S_{\text{perlu}}} = V_u - \phi V_c) \dots\dots\dots (2.37)$$

2.4.3. TANGGA DAN BORDES

A. Perencanaan Dimensi Tangga

Merencanakan dimensi injakan dengan persyaratan :

$$0,6 \leq (2t - i) \leq 0,65 \quad .. \quad (meter) \dots\dots (2.38)$$

Keterangan :

t = tanjakan ≤ 25 cm

i = injakan dengan $25\text{ cm} \leq i \leq 40$ cm dan maksimal sudut tangga 40°

B. Pembebanan Tangga

a. Pembebanan pada anak tangga

Beban mati tangga menurut PPIUGG 1983 pasal 1.01

➤ Berat Sendiri

➤ Spesi

- Berat railing
- Keramik

Beban Hidup tangga menurut PPIUG pasal 1.02 adalah 300 kg/m^2

- b. Pembebanan pada bordes
 - Beban mati plat bordes menurut PPIUG 1983 pasal 1.01
 - Berat sendiri
 - Spesi
 - Keramik
 - Beban Hidup plat bordes menurut PPIUG 1983 pasal 1.02

C. Penulangan Struktur Tangga

Penulangan pada plat anak tangga dan plat bordes menggunakan perhitungan sesuai prinsip perencanaan plat.

2.4.4. KOLOM

- a. Perencanaan dimensi kolom

$$\frac{I_{kolom}}{I_{kolom}} \geq \frac{I_{balok}}{I_{balok}} \dots\dots\dots (2.39)$$

Dimana : I_{kolom} = inersia kolom ($1/2 \times b \times h^3$).
 I_{kolom} = tinggi bersih kolom.
 I_{balok} = inersia balok ($1/2 \times b \times h^3$).
 I_{balok} = tinggi bersih balok.

- b. Penulangan kolom sesuai dengan SNI 03-2847-2002.

$$\psi = \frac{\sum \left(\frac{EI}{\lambda} \right)_{kolom}}{\sum \left(\frac{EI}{\lambda} \right)_{balok}} \dots\dots\dots (2.40)$$

(SNI 03-2847-2002, Pasal 12.11.6)

$$EI = \frac{(0,2 Ec Ig) + (Eclg)}{1 + \beta d} \dots\dots\dots (2.41)$$

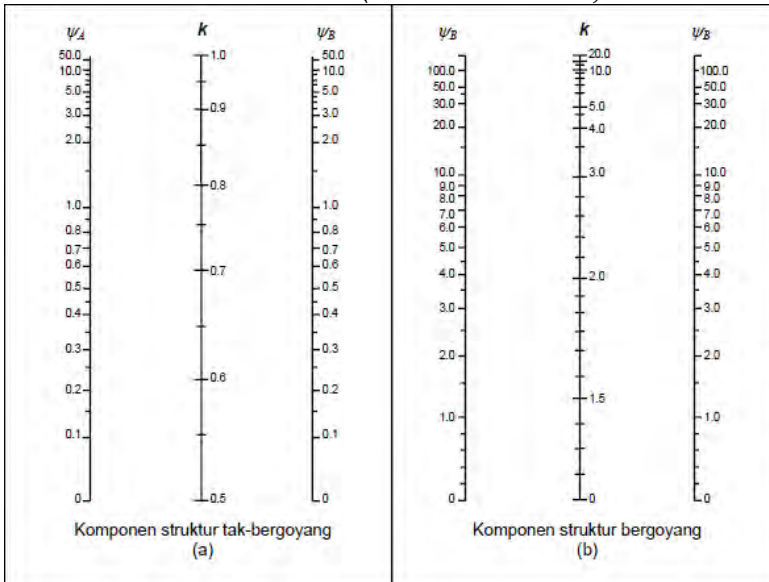
(SNI 03-2847-2002, Pasal 12.12.3)

$$EI = \frac{0,4 \times Ec Ig}{1 + \beta d} \dots\dots\dots (2.42)$$

(SNI 03-2847-2002, Pasal 12.12.3)

$$P_c = \frac{\pi^2 \times EI \text{ kolom}}{(k \times \lambda y)^2} \leq 25 \dots\dots\dots (2.43)$$

(SNI 03-2847-2002, Pasal 12.12.3)



Gambar 2. 3. Gambar Komponen Struktur Bergoyang dan Tidak Bergoyang

$$\frac{k \times lu}{r} \leq 34 - 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \dots\dots\dots \text{Untuk rangka portal tak bergoyang} \dots\dots\dots (2.44)$$

$$\frac{k \times lu}{r} \leq 22 \dots\dots\dots \text{Untuk rangka portal bergoyang} \dots\dots\dots (2.45)$$

Apabila $\frac{k \times lu}{r} \leq 100$, maka diperlukan perhitungan momen orde dua.

C. Perhitungan Penulangan lentur

Hitung :

- Tentukan harga β

- Nilai M_{ox} dan M_{oy} (2.46)

$$M_{ox} = M_{nx} + M_{ny} \left(\frac{b}{h}\right) \left(\frac{1-\beta}{\beta}\right); \text{ untuk}$$

$$\frac{M_{ny}}{M_{nx}} \leq \frac{b}{h} \dots\dots\dots (2.47)$$

$$M_{oy} = M_{ny} + M_{nx} \left(\frac{1-\beta}{\beta}\right) \left(\frac{b}{h}\right); \text{ untuk}$$

$$\frac{M_{ny}}{M_{nx}} \leq \frac{b}{h} \dots\dots\dots (2.48)$$

- $\frac{Pu}{Ag}$ dan $\frac{\phi M_{ox}}{Ag \times h}$ (2.49)

- ρ_{perlu} didapat dari diagram interaksi

- $A_s = \rho_{perlu} \times b \times h$ 2.50)

d. Cek kemampuan kolom

Cek kemampuan kolom dilakukan dengan *software* PCACOL.

e. Perhitungan penulangan geser.

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{hn} \dots\dots\dots (2.51)$$

Gaya geser yang disumbangkan beton akibat gaya tekan aksial.

$$V_c = \left(1 + \frac{Nu}{14 \times Ag}\right) \left(\frac{1}{6} \sqrt{f'c'} \times bw \times d\right) \dots\dots (2.52)$$

(SNI 03-2847-2002, Pasal 12.3.1.2)

(untuk daerah lapangan nilai V_c diambil setengah dari nilai tumpuan).

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{hn} + V_{1,2DL + 1LL} \dots\dots\dots (2.53)$$

Untuk komponen struktur yang dibebani tekan aksial, maka kuat geser (V_c) harus dihitung menggunakan rumus :

$$V_c = \left(1 + \frac{Nu}{14 \times Ag}\right) \left(\frac{1}{6} \sqrt{f'c'} \times bw \times d\right) \dots\dots (2.54)$$

(SNI 03-2847-2002, Pasal 12.3.1.(2))

f. Sesuai dengan SNI 03-2847-2002, Pasal 23.10.5, ketentuan-ketentuan SRPMM tentang kolom, yaitu :

1. Spasi maksimum sengkang ikat tidak boleh melebihi :
 - $8 \times \phi_{\text{tulangan}}$ longitudinal terkecil.
 - $24 \times \phi_{\text{sengkang ikat}}$.
 - Setengah dimensi penampang terkecil komponen struktur, dan
 - 300 mm.
 Panjang l_o tidak boleh kurang daripada nilai terbesar berikut ini :
 - $1/6$ tinggi bersih kolom.
 - Dimensi terbesar penampang kolom.
 - 500 mm.
2. Sengkang ikat pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada $0,5 \times S_o$ dari muka hubungan balok-kolom. (S_o adalah spasi maksimum tulangan tranvesal).
3. Tulangan hubungan balok-kolom harus memenuhi 13.11.2.
4. Spasi sengkang ikat pada sebarang penampang kolom tidak boleh melebihi $2 \times S_o$.

2.4.5. PONDASI

a. Perhitungan daya dukung tanah.

$$1. \quad Q_u = Q_p + Q_s \\ = 40.N.A_p + (N_{AV}.A_s)/5 \dots\dots\dots (2.55)$$

2. Kekuatan Tanah

$$Q_{ijin} = \frac{Q_u}{SF} (2.56)$$

Dimana :

Q_u = daya dukung ultimate (ton)

Q_p = daya dukung ujung tiang

Q_s = daya dukung selimut tiang

N = Nilai SPT pada ujung tiang

N_{av} = rata-rata nilai SPT sepanjang tiang

A_p = luas permukaan ujung tiang

A_s = luas selimut tiang

SF = 3

b. Perencanaan tiang pancang

1. Perhitungan jarak antar tiang pancang :

$$2,5D \leq S \leq 4D \dots\dots\dots(2.57)$$

2. Perhitungan jarak tiang pancang

$$1,5D \leq S_1 \leq 2D \dots\dots\dots(2.58)$$

$$3. \text{ Efisiensi } (\eta) = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mm} \dots\dots\dots(2.59)$$

$\theta = \arctg (D/S)$; dengan D adalah diameter tiang pancang S adalah jarak antar tiang pancang.

$$4. P_{\text{grup tiang}} = (\eta) \times P_{\text{ijin}} \dots\dots\dots(2.60)$$

5. Gaya yang dipikul tiang

$$P \text{ satu TP} = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{M_y X_{max}}{\sum x^2} \pm \frac{M_x Y_{max}}{\sum y^2} \dots\dots\dots(2.61)$$

6. Kontrol tiang pancang

$$P_{max} \leq P_{ijin}$$

$$P_{min} \leq P_{ijin}$$

$$P_{max} \leq P_{\text{grup tiang}}$$

c. Perencanaan Pile Cap (poer)

1. Penulangan Lentur Poer

- Rencanakan ketinggian (h) poer

- Tentukan momen yang terjadi :

$$M_u = (P \cdot x) - (1/2 \times q \times l^2) \dots\dots\dots(2.62)$$

- Hitung penulangan :

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots(2.63)$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} \dots\dots\dots(2.64)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \dots\dots\dots(2.65)$$

$$A_s = \rho \times b \times d \dots\dots\dots(2.66)$$

2. Penulangan Geser Poer

Sesuai dengan SNI 03-2847-2002, untuk perencanaan poer, nilai V_c harus diambil sebagai terkecil persamaan-persamaan dari berikut :

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta c}\right) \frac{\sqrt{f c' x b o x d}}{6} \dots\dots\dots (2.67)$$

(SNI 03-2847-2002, Pasal 13.12.2.1(a))

$$V_c = \left(2 + \frac{a s x d}{b o}\right) \frac{\sqrt{f c' x b o x d}}{12} \dots\dots\dots (2.68)$$

(SNI 03-2847-2002, Pasal 13.12.2.1(b))

$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f c'} x b o x d \dots\dots\dots (2.69)$$

(SNI 03-2847-2002, Pasal 13.12.2.1(c))

$$\phi V_c > V_u \dots\dots\dots (2.70)$$

d. Panjang penyaluran tulangan kolom, sesuai dengan SNI 03-2847-2002.

1. Tulangan kondisi Tarik

$$\frac{\lambda d}{d s} = \frac{3 f_y \alpha \beta \lambda}{5 \sqrt{f c'}} \geq 300 \text{ mm} \dots\dots\dots (2.71)$$

(SNI 03-2847-2002, Pasal 14.2.2)

$$\text{Tulangan lebih} = \frac{A s \text{ perlu}}{A s \text{ pasang}} x \lambda d \dots\dots\dots (2.72)$$

(SNI 03-2847-2002, Pasal 14.2.5)

2. Tulangan kondisi tekan

$$\lambda_d = \frac{d b x f_y}{4 x \sqrt{f c'}} \geq 0,04 x d_b x f_y \dots\dots\dots (2.73)$$

(SNI 03-2847-2002, Pasal 14.3.2)

$$\text{Tulangan lebih} = \frac{A s \text{ perlu}}{A s \text{ pasang}} x \lambda d \dots\dots\dots (2.74)$$

(SNI 03-2847-2002, Pasal 14.2.5)

3. Tulangan berkait dalam kondisi Tarik

$$\lambda_{hb} = \frac{100 x d b}{\sqrt{f c'}} \dots\dots\dots (2.75)$$

(untuk batang dengan f_y sama dengan 400 MPa)

e. Kontrol geser pons poer.

Untuk merencanakan tebal poer harus memenuhi syarat yaitu kuat geser nominal beton harus lebih

besar dari geser pons yang terjadi, dimana V_c diambil dari persamaan-persamaan berikut :

1. Geser satu arah pada poer

- Tentukan beban poer $q_t = \frac{P}{Luas\ Poer}$ (2.76)
 - Menentukan luasan tributary akibat geser satu arah
 - Kontrol “d” (tebal poer) berdasarkan gaya geser satu arah
 - $\sigma_u = \frac{\Sigma P}{A}$ (2.77)
 - $V_u = \zeta_u \times (\text{luas total poer} - \text{luas pons})$ (2.78)
 - Kontrol perlu tulangan geser
 - $\phi V_c > V_u$ (*tidak perlu tulangan geser*) (2.79)
 - $\phi V_c < V_u$ (*perlu tulangan geser*) . (2.80)
- Jika $\phi V_c > V_u$ (*perlu tulangan geser*), maka dimensi poer diperbesar.

2. Geser dua arah poer didapatkan dari SNI 03-2847-2002 Pasal 13.12.2.1

Kontrol kemampuan beton :

- $V_c = (1 + \frac{2}{\beta_c}) \frac{\sqrt{f_c'} x b_o x d}{6}$ (2.81)
- (SNI 03-2847-2002, Pasal 13.12.2.1(a))**

Dimana :

β_c = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek kolom

B_o = keliling dari penampang kritis

$b_o = 4(0,5d + b \text{ kolom} + 0,5d)$ (2.82)

- $V_c = (2 + \frac{\alpha_s x d}{b_o}) \frac{\sqrt{f_c'} x b_o x d}{12}$ (2.83)
- (SNI 03-2847-2002, Pasal 13.12.2.1(b))**

- $V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} x b_o x d$ (2.84)
- (SNI 03-2847-2002, Pasal 13.12.2.1(c))**

BAB III

METODOLOGI

Langkah-langkah dalam Perencanaan Struktur Gedung, dengan metode gempa seribu tahun dan sistem rangka pemikul momen menengah adalah sebagai berikut :

3.1. METODE PERENCANAAN

3.1.1 PENGUMPULAN DATA

- a. Gambar Arsitektur dan Struktur Bangunan.
- b. Data Tanah.
- c. Rencana Kerja dan Syarat-syarat.
- d. Perencanaan dan Buku Penunjang Lainnya sebagai dasar teori maupun pendukung.

3.1.2 PRELIMINARY DESAIN

- a. Penentuan dimensi balok.
Perencanaan lebar efektif balok (SNI 03-2847-2002, pasal 10.10.2).
- b. Penentuan dimensi portal.
Perencanaan kolom portal (SNI 03-2847-2002, pasal 12.12.2).
Pembesaran momen (SNI 03-2847-2002, pasal 12.13.3).
- c. Penentuan dimensi plat.
Perencanaan plat 1 arah (SNI 03-2847-2002, pasal 11.5.2, table 8).

Perencanaan plat 2 arah (SNI 03-2847-2002, pasal 11.5.3).

Analisa gaya pada plat (PBBI 1971, pasal 13.3, table 13.3.1 dan 13.3.2).

Penulangan plat (SNI 03-2847-2002, pasal 9).

Penulangan susut dan suhu (SNI 03-2847-2002, pasal 9.12.2.1).

3.1.3 PERHITUNGAN PEMBEBANAN

Pembebanan pada plat

- **Beban Mati**

Beban sendiri bangunan sesuai dengan fungsi gedung dalam PPIUG 1983

Berat plafond

Berat pemasangan pemipaan air bersih dan kotor, dan listrik

Berat keramik dan spesi

Berat dinding

- **Beban hidup**

Beban pelaksanaan sesuai dengan fungsi gedung dalam PPIUG 1983

- **Beban tangga dan bordes**

- Beban mati.

- Berat sendiri tangga dan bordes.

- Berat ubin dan spesi.

- Penebalan penulangan yang dipakai pada elemen struktur yang dihitung (struktur atas dan struktur bawah).

- Penggambaran detail penulangan.

3.1.4 CEK SYARAT

a. Plat

- Kontrol jarak spasi tulangan (SNI 03-22847-20022, pasal 15.13.2).
- Kontrol jarak spasi tulangan susut dan suhu.
- Kontrol perlu tulangan susut dan suhu (SNI 03-2847-2002, pasal 9.12.2.1 dan pasal 10.4.3).
- Kontrol lendutan (SNI 03-2847-2002, pasal 11.5.3.4)

b. Balok

- Kontrol M_n pasang $\geq M_n$ untuk penulangan lentur
- Kontrol penulangan geser yang terdiri dari lima kombinasi

c. Kolom

- Kontrol momen yang terjadi $M_{pasang} \geq M_n$

d. Pondasi

- Kontrol dimensi poer
(SNI 03-2847-2002, pasal 13.12.2.1 (a))
(SNI 03-2847-2002, pasal 13.12.2.1 (b))
(SNI 03-2847-2002, pasal 13.12.2.1 (c))
- Kontrol geser poer
Geser satu arah (SNI 03-2847-2002, pasal 13.12.2.1.1)
Geser dua arah (SNI 03-2847-2002, pasal 13.12.2.1.2)

3.1.5 GAMBAR RENCANA

Gambar perencanaan meliputi :

- a. Gambar arsitektur terdiri dari :
 - Gambar denah

- Gambar tampak
- b. Gambar struktur terdiri dari :
 - Potongan memanjang
 - Potongan melintang
- c. Gambar penulangan :
 - Gambar plat
 - Gambar tangga
 - Gambar balok
 - Gambar kolom
 - Gambar sloof
 - Gambar poer dan pondasi
- d. Gambar detail :
 - Gambar detail panjang penyaluran, meliputi :
 - Panjang penyaluran kolom
 - Panjang penyaluran balok
 - Panjang penyaluran plat dan tangga
 - Panjang penyaluran sloof
 - Panjang penyaluran pondasi
 - Gambar detail penjangkaran tulangan
 - Gambar detail pondasi dan poer
 - Gambar detail atap
- e. Gambar struktur
 - Gambar plat
 - Gambar balok
 - Gambar kolom
 - Gambar sloof
 - Gambar pondasi

3.1.6. FLOW CHART PERHITUNGAN STRUKTUR

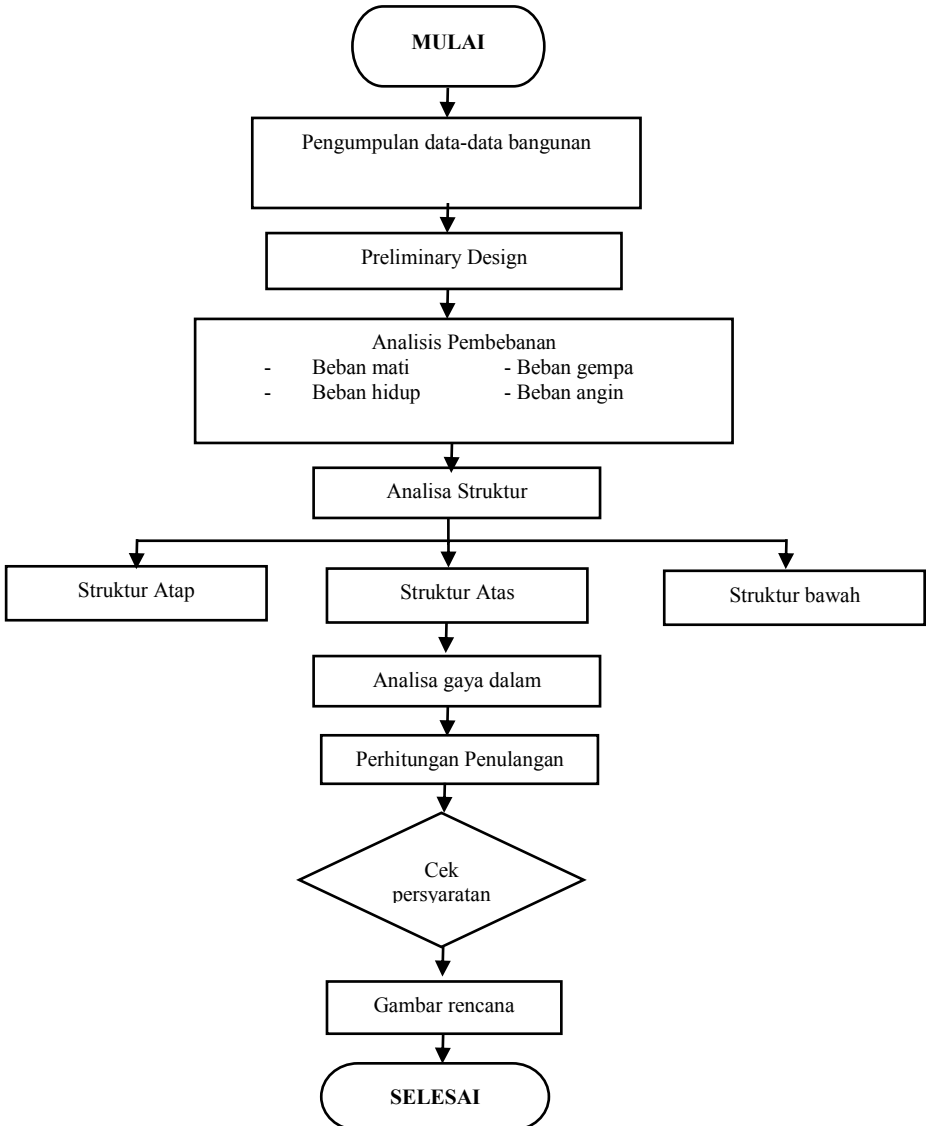
Flowchart perhitungan meliputi flowchart metodologi struktur bangunan tersebut dan perhitungan struktur

bangunan. Dengan mengikuti flowchart pada gambar 3.1 s/d 3.5. Adapun masing- masing flowchart adalah sebagai berikut :

- Flowchart Penulangan Pelat
- Flowchart Penulangan Lentur Balok
- Flowchart Penulangan Geser Balok
- Flowchart Penulangan Tangga dan Bordes
- Flowchart Penulangan Lentur Kolom
- Flowchart Penulangan Geser Kolom
- Flowchart Penulangan Pondasi

3.2 BAGAN ALUR

Bagan alur pengerjaan tugas akhir ini adalah se-bagai berikut



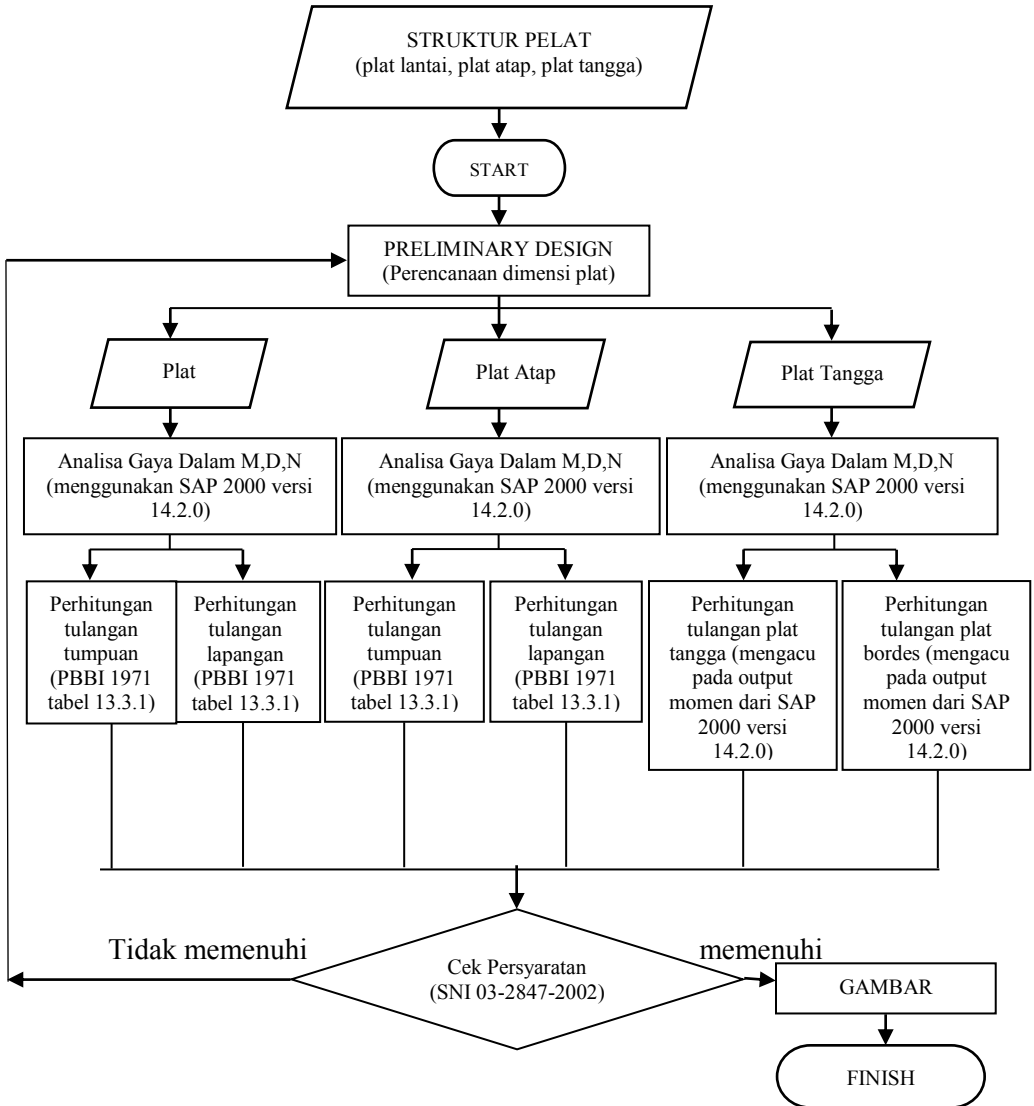
Gambar 3. 1. Flowchart Pengerjaan Tugas Akhir

3.2.1 PERENCANAAN STRUKTUR ATAS

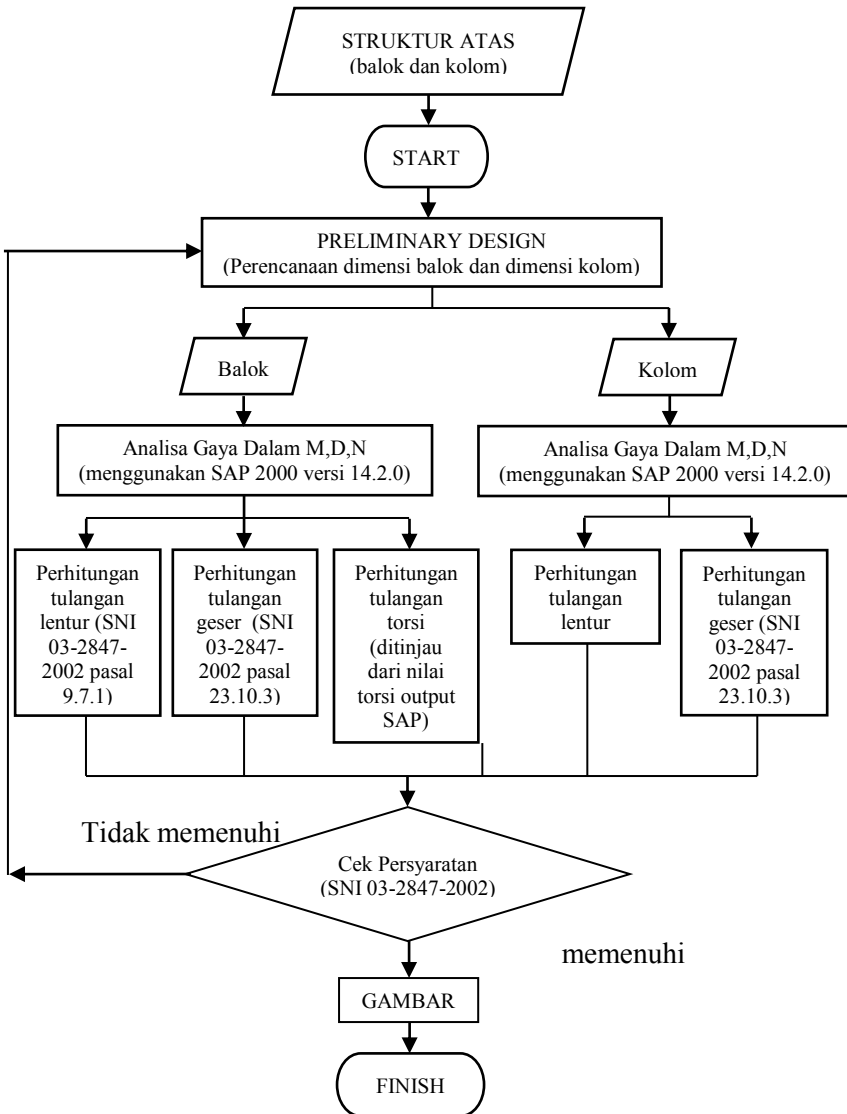
Struktur atas terdiri dari :

- a. Kolom
- b. Balok
- c. Tangga
- d. Plat lantai

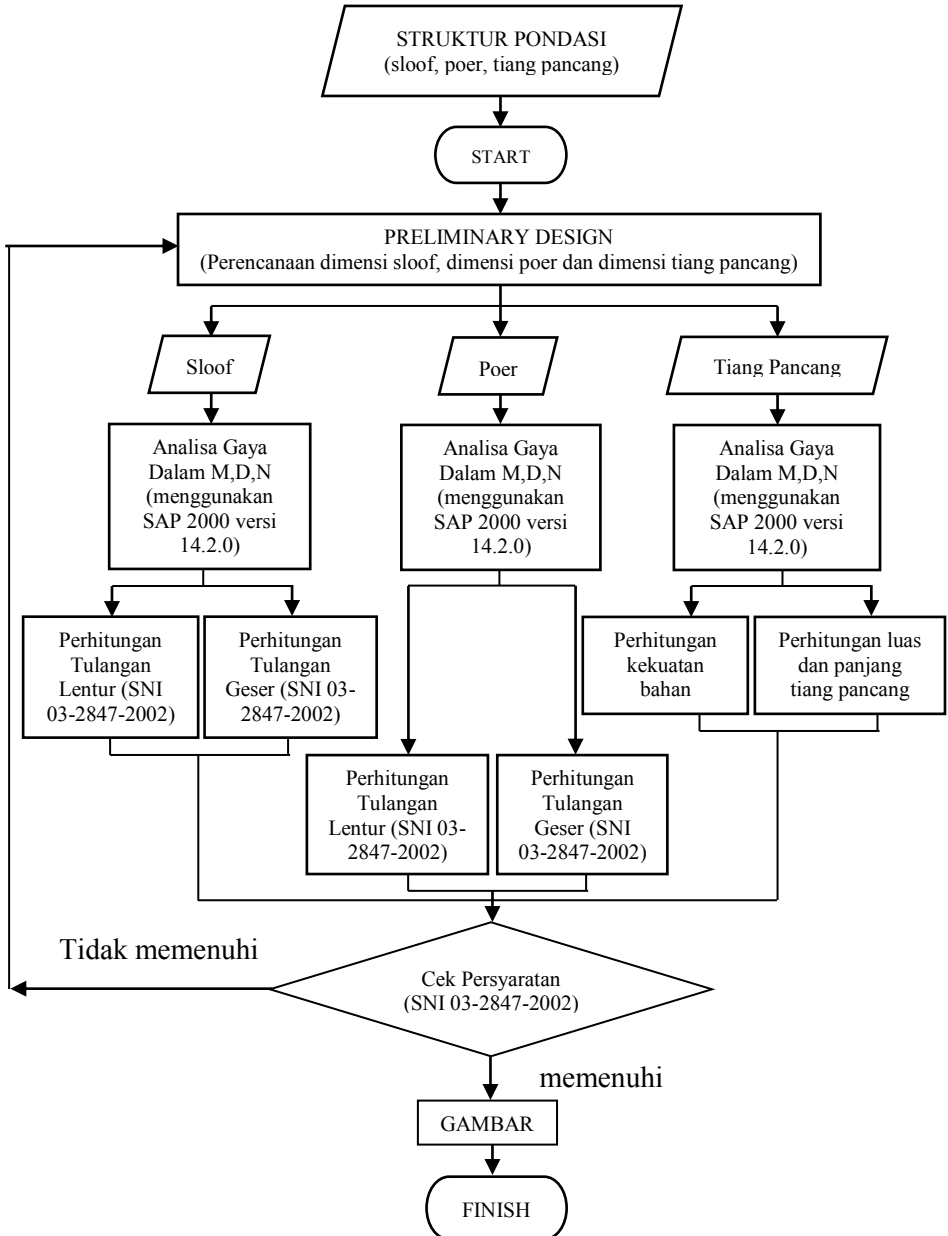
PERHITUNGAN STRUKTUR ATAS (PELAT)



PERHITUNGAN STRUKTUR ATAS



PERHITUNGAN STRUKTUR BAWAH



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. PERENCANAAN DIMENSI STRUKTUR

Sebelum merencanakan struktur gedung SMA Muhammadiyah 3 Surabaya, terlebih dahulu menentukan dimensi struktur-struktur utama yang digunakan dalam perencanaan bangunan tersebut.

4.1.1. PERENCANAAN DIMENSI BALOK

Dalam perhitungan dimensi balok ini, diambil dari balok lantai 2, lantai 3 dan lantai 4 sesuai dengan gambar denah yang terlampir.

- $$h = \frac{L}{14}$$

dimana :

h = tinggi balok (cm)

L = bentang bersih antar balok (cm)

- $$b = \frac{2}{3} \cdot h$$

dimana :

b = lebar balok (cm)

h = tinggi balok (cm)

Balok Induk Melintang (B1)

- Data-data Perencanaan :

- Tipe Balok : B1
- Bentang Balok (L balok) : 575 cm
- Kuat leleh tulangan lentur (fy) : 400 Mpa
- Ketentuan Perencanaan :

SNI 03-2847-2002, tabel 8 :

- Komponen struktur balok dua tumpuan sederhana untuk perencanaan tebal minimum (h) menggunakan $\frac{L}{14}$
- Kuat leleh tulangan lentur (fy) selain 400 Mpa, hasil nilai perencanaan tebal minimum (h) harus dikalikan dengan $0,4 + \frac{fy}{700}$

- Perhitungan perencanaan :

$$\begin{aligned}
 h &= \frac{L}{14} \times \left(0,4 + \frac{fy}{700}\right) \\
 h &= \frac{575 \text{ cm}}{14} \times \left(0,4 + \frac{400}{700}\right) \\
 h &= 39,9 \text{ cm} \approx 40 \text{ cm} \\
 \text{Direncanakan } h &= 40 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad b &= \frac{2}{3} \cdot h \\
 &= \frac{2}{3} \cdot 40 \text{ cm} \\
 &= 26,67 \text{ cm} \approx 30 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Direncanakan b = 30 cm

maka direncanakan dimensi Balok Induk Melintang (B1) dengan ukuran 30/40

Balok Induk Memanjang (B2)

- Data-data Perencanaan :

- Tipe Balok : B2
- Bentang Balok (L balok) : 400 cm
- Kuat leleh tulangan lentur (fy) : 400 Mpa

- Ketentuan Perencanaan :

SNI 03-2847-2002, tabel 8 :

- Komponen struktur balok dua tumpuan sederhana untuk perencanaan tebal minimum (h) menggunakan $\frac{L}{14}$
- Kuat leleh tulangan lentur (fy) selain 400 Mpa, hasil nilai perencanaan tebal minimum (h) harus dikalikan dengan $0,4 + \frac{fy}{700}$

- Perhitungan perencanaan :

- $h = \frac{L}{14} \times (0,4 + \frac{fy}{700})$
 $h = \frac{400 \text{ cm}}{14} \times (0,4 + \frac{400}{700})$
 $h = 27,76 \text{ cm} \approx 30 \text{ cm}$
 Direncanakan $h = 30 \text{ cm}$
- $b = \frac{2}{3} \cdot h$
 $= \frac{2}{3} \cdot 30 \text{ cm}$
 $= 20 \text{ cm}$
 Direncanakan $b = 20 \text{ cm}$
- maka direncanakan dimensi Balok Induk Memanjang (B2) dengan ukuran 20/30

Balok Anak (B3)

- Data-data Perencanaan :

- Tipe Balok : B3
- Bentang Balok (L balok) : 400 cm
- Kuat leleh tulangan lentur (fy) : 400 Mpa

- Ketentuan Perencanaan :

SNI 03-2847-2002, tabel 8 :

- Komponen struktur balok dua tumpuan sederhana untuk perencanaan tebal minimum (h) menggunakan $\frac{L}{16}$
- Kuat leleh tulangan lentur (fy) selain 400 Mpa, hasil nilai perencanaan tebal minimum (h) harus dikalikan dengan $0,4 + \frac{fy}{700}$

- Perhitungan perencanaan :

- $h = \frac{L}{16} \times (0,4 + \frac{fy}{700})$
 $h = \frac{400 \text{ cm}}{16} \times (0,4 + \frac{400}{700})$
 $h = 24,29 \text{ cm} \approx 25 \text{ cm}$
 Direncanakan $h = 25 \text{ cm}$
- $b = \frac{2}{3} \cdot h$
 $= \frac{2}{3} \cdot 25 \text{ cm}$

$$= 16,67 \text{ cm} \approx 20 \text{ cm}$$

Direncanakan $b = 20 \text{ cm}$

maka direncanakan dimensi Balok Anak (B3) dengan ukuran 20/25

4.1.2. PERENCANAAN DIMENSI KOLOM

Dalam perhitungan dimensi kolom, diambil dari kolom lantai 1, lantai 2, lantai 3 dan lantai 4, sesuai dengan gambar denah yang terlampir. Berdasarkan PBI 1989 pasal 13.7.4.1 bahwa momen inersia kolom pada sembarang penampang di luar join atau kepala kolom boleh didasarkan pada penampang bruto beton.

$$\frac{I_{kolom}}{L_{kolom}} \geq \frac{I_{balok}}{L_{balok}}$$

dimana :

I_{kolom} = momen inersia kolom (cm^4)

$I_{kolom} = 1/12 \times b \times h^3 = 1/12 \times h^4$ (karena pada kolom $b = h$)

I_{balok} = momen inersia balok (cm^4)

$I_{balok} = 1/12 \times b \times h^3$

L_{kolom} = tinggi bersih antar lantai (cm)

L_{balok} = bentang bersih antar balok (cm)

- Data-data Perencanaan :

- Tipe Kolom : K1
- Tinggi Kolom H_{kolom} : 370 cm
- Bentang Balok L_{balok} : 575 cm
- Dimensi Balok b_{balok} : 30 cm
- Dimensi Balok h_{balok} : 40 cm

- Ketentuan Perencanaan :

$$\frac{I_{kolom}}{L_{kolom}} \geq \frac{I_{balok}}{L_{balok}}$$

- Perhitungan Perencanaan :

$$\begin{aligned} \frac{I_{kolom}}{L_{kolom}} &\geq \frac{I_{balok}}{L_{balok}} \\ \frac{\frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3}{H_{kolom}} &\geq \frac{\frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3}{L_{balok}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{\frac{1}{12} \cdot h^4}{H \text{ kolom}} &\geq \frac{\frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3}{L \text{ balok}} \\
 \frac{\frac{1}{12} \cdot h^4}{370 \text{ cm}} &\geq \frac{\frac{1}{12} \cdot 30 \text{ cm} \cdot (40 \text{ cm})^3}{575 \text{ cm}} \\
 \frac{\frac{1}{12} \cdot h^4}{370 \text{ cm}} &\geq 278,26 \text{ cm}^3 \\
 h^4 &\geq 278,26 \text{ cm}^3 \cdot 370 \text{ cm} \cdot 12 \\
 h^4 &\geq 1.235.474,4 \text{ cm}^4 \\
 h &\geq 33,34 \text{ cm} \approx 40 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Direncanakan dimensi Kolom dengan ukuran 40/40

4.1.3. PERENCANAAN DIMENSI SLOOF

- Data-data Perencanaan :

- Tipe Balok : S1
- Bentang Sloof (L sloof) : 575 cm
- Kuat leleh tulangan lentur (fy) : 400 Mpa
- Dimensi kolom : 40/40
- L kolom : 370 cm

- Perhitungan Perencanaan :

$$\begin{aligned}
 I_{\text{kolom}} &= \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \\
 &= \frac{1}{12} \cdot 40 \text{ cm} \cdot 40 \text{ cm}^3 \\
 &= 213.333 \text{ cm}^4 \\
 I_{\text{sloof}} &= \frac{L_{\text{sloof}} \times I_{\text{kolom}}}{L_{\text{kolom}}} \\
 &= \frac{575 \text{ cm} \times 213333 \text{ cm}^4}{370 \text{ cm}} \\
 &= 331.531,5 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

Direncanakan dimensi sloof

$$\begin{aligned}
 I_{\text{sloof}} &= \frac{1}{14} \times h^4 \\
 331.531,5 \text{ cm}^4 &= \frac{1}{14} \times h^4 \\
 h^4 &= 4.641.441 \text{ cm}^4 \\
 h &= 46,42 \text{ cm} \approx 45 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bullet b &= \frac{2}{3} \cdot h \\
 &= \frac{2}{3} \cdot 45 \text{ cm} \\
 &= 30 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

maka direncanakan dimensi Sloof (S1) dengan ukuran 30/45

Kesimpulan

Dari hasil perhitungan di atas maka dapat disimpulkan gedung tersebut menggunakan struktur dengan dimensi sebagai berikut :

Tabel 4. 1. Daftar dimensi struktur

Tipe Struktur	As	Dimensi
Balok B1	A,1-2 ; A,2-3 ; A,3-4 ; B,1-2 ; B,2-3 ; B,3-4 ; C,1-2 ; C,2-3 ; C,3-4 ; D,1-2 ; D,2-3 ; D,3-4 ; E,1-2 ; E,2-3 ; E,3-4 C,1'-1 ; C,4-4' ; D,4-4'.	30/40
Balok B2	1,A-B ; 1,B-C ; 1,C-D ; 1,D-E ; 2,A-B ; 2,B-C ; 2,C-D ; 2,D-E ; 3,A-B ; 3,B-C ; 3,C-D ; 3,D-E ; 4,A-B ; 4,B-C ; 4,C-D ; 4,D-E.	20/30
Balok B3	1',A-B ; 1',B-C ; 1',C-D ; 2',A-B ; 2',B-C.	20/25
Kolom K1	Lantai 1 – Lantai 4 : A,1 ; A,2 ; A,3 ; A,4 B,1 ; B,2 ; B,3 ; B,4 C,1 ; C,2 ; C,3 ; C,4 D,1 ; D,2 ; D,3 ; D,4	40/40
Sloof S1	A,1-2 ; A,2-3 ; A,3-4 ; B,1-2 ; B,2-3 ; B,3-4 ; C,1-2 ; C,2-3 ; C,3-4 ; D,1-2 ; D,2-3 ; D,3-4 ;	30/45

	E,1-2 ; E,2-3 ; E,3-4 ; 1,A-B ; 1,B-C ; 1,C-D ; 1,D-E ; 2,A-B ; 2,B-C ; 2,C-D ; 2,D-E ; 3,A- B ; 3,B-C ; 3,C-D ; 3,D-E ; 4,A-B ; 4,B-C ; 4,C-D ; 4,D-E.	
--	---	--

4.1.4. PERENCANAAN DIMENSI PELAT

Perhitungan dimensi pelat di bawah ini, mengambil contoh perhitungan pelat untuk tipe B pada pelat lantai 2.

- Rasio bentang bersih arah memanjang terhadap arah memendek pelat

$$\beta = \frac{L_n}{S_n}$$

dimana :

β = rasio bentang bersih arah memanjang terhadap arah memendek pelat

L_n = bentang bersih arah memanjang pelat

S_n = bentang bersih arah pendek pelat

- Lebar efektif sayap (b_e) untuk balok L

$$b_e = b_w + h_w \leq b_w + 4 h_f \text{ (diambil yang terkecil)}$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 15.2.4)

dimana :

b_e = lebar efektif sayap (cm)

b_w = lebar badan balok (cm)

h_w = tinggi badan balok (cm)

h_f = tinggi sayap balok (cm)

- Lebar efektif sayap (b_e) untuk balok T

$$b_e = b_w + 2 h_w \leq b_w + 8 h_f$$

(diambil yang terkecil)

(SNI 03-2847-2002 pasal 15.2.4)

dimana :

b_e = lebar efektif sayap (cm)
 b_w = lebar badan balok (cm)
 h_w = tinggi badan balok (cm)
 h_f = tinggi sayap balok (cm)

- Faktor modifikasi

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)\left(\frac{t}{h}\right)\left[4 - 6\left(\frac{t}{h}\right) + 4\left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)\left(\frac{t}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)\left(\frac{t}{h}\right)}$$

dimana :

h = tinggi total balok
 t = tebal total pelat
 b_e = lebar efektif sayap
 b_w = lebar badan balok

- Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha = \frac{I_b E_{cb}}{I_p E_{cp}}$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 15.3.6)

dimana :

I_b = momen inersia penampang T
 I_p = momen inersia lajur pelat
 $E_{cb} = E_{cp}$ = modulus Elastisitas = 200.000 MPa

Pelat Tipe B

Data-data Perencanaan :

Tipe pelat : B
 Kuat tekan beton (f_c') : 25 MPa
 Kuat leleh tulangan lentur (f_y) : 400 Mpa
 Rencana tebal pelat : 12 cm
 Bentang pelat sumbu panjang (L_y) : 400 cm
 Bentang pelat sumbu pendek (L_x) : 400 cm

Gambar 4.1 Detail Pelat Tipe A

Perhitungan Perencanaan :

Bentang bersih pelat sumbu panjang :

$$\begin{aligned}
 L_n &= L_y - \left(\frac{b_{\text{balok induk}}}{2} + \frac{b_{\text{balok induk}}}{2} \right) \\
 &= 400 \text{ cm} - \left(\frac{30 \text{ cm}}{2} + \frac{30 \text{ cm}}{2} \right) \\
 &= 370 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Bentang bersih pelat sumbu pendek :

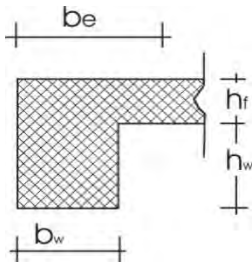
$$\begin{aligned}
 S_n &= L_x - \left(\frac{b_{\text{balok induk}}}{2} + \frac{b_{\text{balok induk}}}{2} \right) \\
 &= 400 \text{ cm} - \left(\frac{20 \text{ cm}}{2} + \frac{20 \text{ cm}}{2} \right) \\
 &= 380 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}
 \beta &= \frac{L_n}{S_n} \\
 &= \frac{370 \text{ cm}}{380 \text{ cm}} \\
 &= 0,97 \approx 1
 \end{aligned}$$

Balok B1 (30/40) as C joint 2-3

Menentukan lebar efektif sayap untuk balok L



$$b_e = h_b \leq 4 h_f$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4)

$$b_{e1} = 4 \times h_f$$

$$= 4 \times 12 \text{ cm}$$

$$= 48 \text{ cm}$$

$$b_{e2} = h_b$$

$$= 28 \text{ cm}$$

pilih nilai yang terkecil $b_e = 28 \text{ cm}$

Faktor modifikasi

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right) + 4 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{28}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{40}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{12}{40}\right) + 4 \left(\frac{12}{40}\right)^2 + \left(\frac{28}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{40}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{28}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{40}\right)}$$

$$k = \frac{1,005}{0,98}$$

$$k = 1,025$$

Momen inersia penampang T

$$I_b = k \cdot \frac{b_w \cdot h^3}{12}$$

$$= 1,025 \cdot \frac{30 \text{ cm} \cdot (40 \text{ cm})^3}{12}$$

$$= 164.055 \text{ cm}^4$$

Momen inersia lajur pelat

$$I_p = b_p \cdot \frac{t^3}{12}$$

$$= (0,5 \cdot 400 \text{ cm} + 400 \text{ cm}) \cdot \frac{(12 \text{ cm})^3}{12}$$

$$= 57.600 \text{ cm}^4$$

Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_1 = \frac{I_b E_{cb}}{I_p E_{cp}} \geq 1,0$$

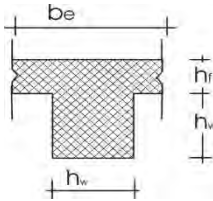
$$(SNI 03-2847-2013 \text{ pasal } 13.3.6)$$

$$= \frac{164055 \text{ cm}^4}{57600 \text{ cm}^4} \times 2 \geq 1,0$$

$$= 5,696 \geq 1,0$$

Balok B2 (20/30) as 3 joint A-B

Menentukan lebar efektif sayap untuk balok L



$$b_e = b_w + 2 h_w \leq b_w + 8 h_f$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4)

$$\begin{aligned} b_{e1} &= b_w + 2h_w \\ &= 20 \text{ cm} + (2 \cdot 18 \text{ cm}) \\ &= 56 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_{e2} &= b_w + 8 h_f \\ &= 20 \text{ cm} + (8 \cdot 12 \text{ cm}) \\ &= 116 \text{ cm} \end{aligned}$$

pilih nilai yang terkecil $b_e = 56 \text{ cm}$

Faktor modifikasi

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)\left(\frac{t}{h}\right)\left[4 - 6\left(\frac{t}{h}\right) + 4\left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)\left(\frac{t}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)\left(\frac{t}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{56}{30} - 1\right)\left(\frac{12}{40}\right)\left[4 - 6\left(\frac{12}{40}\right) + 4\left(\frac{12}{40}\right)^2 + \left(\frac{56}{30} - 1\right)\left(\frac{12}{40}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{56}{30} - 1\right)\left(\frac{12}{40}\right)}$$

$$k = \frac{0,97}{1,72}$$

$$k = 0,563$$

Momen inersia penampang T

$$\begin{aligned} I_b &= k \cdot \frac{b_w \cdot h^3}{12} \\ &= 0,563 \cdot \frac{20 \text{ cm} \cdot (30 \text{ cm})^3}{12} \\ &= 25.319 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

Momen inersia lajur pelat

$$I_p = b_p \cdot \frac{t^3}{12}$$

$$\begin{aligned}
 &= (0,5 \cdot 400 \text{ cm} + 400 \text{ cm}) \cdot \frac{(12 \text{ cm})^3}{12} \\
 &= 57.600 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\begin{aligned}
 \alpha_2 &= \frac{I_b E_{cb}}{I_p E_{cp}} \geq 1,0 \\
 &(\text{SNI 03-2847-2002 pasal 13.3.6}) \\
 &= \frac{25319 \text{ cm}^4}{57600 \text{ cm}^4} \times 2 \geq 1,0 \\
 &= 0,879 \geq 1,0
 \end{aligned}$$

Dari keempat balok diatas didapatkan rata-rata :

$$\begin{aligned}
 \alpha_m &= \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}{4} \\
 &= \frac{5,696 + 0,879}{4} \\
 &= 1,644
 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned}
 h &= \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta (\alpha_m - 0,2)} \geq 90 \text{ mm} \\
 &= \frac{3700 \text{ mm} \left(0,8 + \frac{240}{1500} \right)}{36 + (9 \times 0,97) \times (1,644 - 0,2)} \geq 90 \text{ mm} \\
 &= 93,36 \text{ mm} \geq 90 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas, didapatkan dimensi tebal pelat lantai yang direncanakan adalah 120 mm = 12 cm

Kesimpulan

Dari hasil perhitungan tebal pelat di atas maka dapat disimpulkan gedung tersebut menggunakan pelat dengan tebal sebagai berikut :

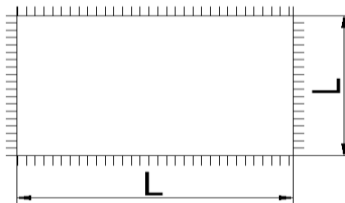
Tabel 4.2 Tebal Pelat Lantai

No.	Tipe Pelat	Tebal Pelat
1.	Pelat tipe A, tipe B, tipe C, tipe D, tipe E, tipe F, tipe G, tipe H	120 mm

4.2. PERHITUNGAN PENULANGAN PELAT

Pelat/ slab adalah bidang tipis yang menahan beban-beban transversal melalui aksi lentur ke masing-masing tumpuan. Dalam design, gaya-gaya pada pelat bekerja menurut aksi satu arah dan dua arah. Plat satu arah (one way slab) dengan tulangan utama yang sejajar dengan gelagar dan tulangan susut atau suhu yang sejajar dengan balok-balok. Sedangkan pelat dua arah (two way slab) memiliki tulangan utama dipasang dua arah yaitu searah sumbu X dan sumbu Y dan tulangan susut atau suhu dipasang mengitari pelat tersebut.

Untuk pelat yang direncanakan dalam bangunan ini diasumsikan sebagai pelat dengan balok tepi yang kaku atau pelat terjepit penuh yang terkekang pada empat sisinya.



Gambar 4. 1. Gambar Pelat Asumsi Jepit penuh

Pelat direncanakan menerima beban sesuai fungsi tiap lantai berdasarkan *Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983 (PPIUG 1983)*. Kombinasi yang digunakan adalah :

$$q_u = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$












dimana :

q_u = beban ultimate pelat

DL = beban mati pelat

LL = beban hidup pelat

Perhitungan yang terjadi pada pelat terjepit penuh yang terkekang pada empat sisinya adalah sebagai berikut : **(PBBI 1971 pasal 13.3 tabel 13.3.1)**

Tipe Pelat	Momen	ly / lx																	
		1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	>2.5	
I		$M_{lx} = +0.001 q l_x^2 X$	44	52	59	66	73	78	84	88	93	97	100	103	106	108	110	112	125
		$M_{ly} = +0.001 q l_y^2 X$	44	45	45	44	44	43	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	25
II		$M_{lx} = +0.001 q l_x^2 X$	21	25	28	31	34	36	37	38	40	40	41	41	41	42	42	42	42
		$M_{ly} = +0.001 q l_y^2 X$	52	59	64	69	73	76	79	81	82	83	83	83	83	83	83	83	83
III		$M_{lx} = +0.001 q l_x^2 X$	28	33	38	42	45	48	51	53	55	57	58	59	59	60	61	61	63
		$M_{ly} = +0.001 q l_y^2 X$	68	77	85	92	98	103	107	111	113	116	118	119	120	121	122	122	125
IVa		$M_{lx} = +0.001 q l_x^2 X$	22	28	34	42	49	55	62	68	74	80	85	89	93	97	100	103	125
		$M_{ly} = +0.001 q l_y^2 X$	32	35	37	39	40	41	41	41	41	40	39	38	37	36	35	35	25
IVb		$M_{lx} = +0.001 q l_x^2 X$	70	79	87	94	100	105	109	112	115	117	119	120	121	122	123	123	125
		$M_{ly} = +0.001 q l_y^2 X$	32	34	36	38	39	40	41	41	42	42	42	42	42	42	42	42	42
Va		$M_{lx} = +0.001 q l_x^2 X$	22	20	18	17	15	14	13	12	11	10	10	10	9	9	9	9	5
		$M_{ly} = +0.001 q l_y^2 X$	70	74	77	79	81	82	83	84	84	84	84	84	84	83	83	83	83
Vb		$M_{lx} = +0.001 q l_x^2 X$	31	38	45	53	60	66	72	78	83	88	92	96	99	102	105	108	125
		$M_{ly} = +0.001 q l_y^2 X$	37	39	41	41	42	42	41	41	40	39	38	37	36	35	34	33	25
VIa		$M_{lx} = +0.001 q l_x^2 X$	84	92	99	104	109	112	115	117	119	121	122	122	123	123	124	124	125
		$M_{ly} = +0.001 q l_y^2 X$	37	41	45	48	51	53	55	56	58	59	60	60	60	61	61	62	63
VIb		$M_{lx} = +0.001 q l_x^2 X$	84	92	98	103	108	111	114	117	119	120	121	122	122	123	123	124	125
		$M_{ly} = +0.001 q l_y^2 X$	21	26	31	36	40	43	46	49	51	53	55	56	57	58	59	60	63
VIIa		$M_{lx} = +0.001 q l_x^2 X$	26	27	28	28	27	26	25	23	22	21	21	20	20	19	19	18	13
		$M_{ly} = +0.001 q l_y^2 X$	53	65	74	82	89	94	99	103	106	110	114	116	117	118	119	120	125
VIIb		$M_{lx} = +0.001 q l_x^2 X$	60	65	69	72	74	76	77	78	78	78	78	78	78	78	78	79	79
		$M_{ly} = +0.001 q l_y^2 X$	26	29	32	35	36	38	39	40	40	41	41	42	42	42	42	42	42
VIIc		$M_{lx} = +0.001 q l_x^2 X$	21	20	19	18	17	15	14	13	12	12	11	11	10	10	10	10	5
		$M_{ly} = +0.001 q l_y^2 X$	60	66	71	74	77	79	80	82	83	83	83	83	83	83	83	83	83
VIIc		$M_{lx} = +0.001 q l_x^2 X$	55	57	57	57	58	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
		$M_{ly} = +0.001 q l_y^2 X$	55	57	57	57	58	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
Keterangan :		 = Terkekang bebas																	
		 = Terjepit penuh																	

$$M_{lx} = 0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$$

$$M_{ly} = 0,001 \cdot q \cdot l_y^2 \cdot X$$

$$M_{tx} = 0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$$

$$M_{ty} = 0,001 \cdot q \cdot l_y^2 \cdot X$$

dimana :

M_{lx} = Momen lapangan arah x

M_{ly} = Momen lapangan arah y

M_{tx} = Momen tumpuan arah x

M_{ty} = Momen tumpuan arah y

Pembebanan Pelat

- Pelat Lantai

- Beban Mati

$$\text{Berat spesi (1 cm)} = 1 \cdot 21 \text{ kg/m}^2 = 21 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat keramik (1 cm)} = 1 \cdot 24 \text{ kg/m}^2 = 24 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat plafond} = 11 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat penggantung} = 7 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Pemipaan air bersih/kotor} + \text{ME} = 50 \text{ kg/m}^2 +$$

$$qD = 134 \text{ kg/m}^2$$

- Beban Hidup

$$\text{Berat hidup lantai ruang hunian} \quad qL = 250 \text{ kg/m}^2$$

- Beban Ultimate

$$qU = 1,2D + 1,6L$$

$$= 1,2 \cdot (134 \text{ kg/m}^2) + 1,6 \cdot (250 \text{ kg/m}^2)$$

$$= 560,8 \text{ kg/m}^2$$

- Pelat Lantai Atap

- Beban Mati

$$\text{Aspal} = 11 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat plafond} = 11 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat penggantung} = 7 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Pemipaan air bersih/kotor} + \text{ME} = 50 \text{ kg/m}^2 +$$

$$qD = 82 \text{ kg/m}^2$$

- Beban Hidup

$$\text{Berat hidup lantai atap} \quad qL = 100 \text{ kg/m}^2$$

- Beban Ultimate

$$qU = 1,2D + 1,6L$$

$$= 1,2 \cdot (82 \text{ kg/m}^2) + 1,6 \cdot (100 \text{ kg/m}^2)$$

$$= 258,4 \text{ kg/m}^2$$

➤ **Pelat Lantai Tipe E**

Data Perencanaan :

Mutu beton (f_c') = 25 MPa

Mutu baja (f_y) = 240 MPa

Tebal pelat (t) = 120 mm

decking = 20 mm

(SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1.c)

β = 0,85

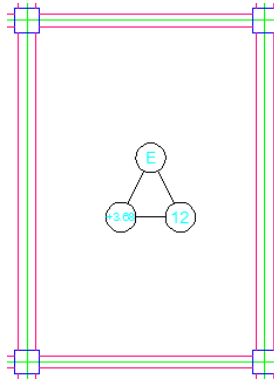
(SNI 03-2847-2002 pasal 10.2.7.3)

bentang pelat sumbu panjang (L_y) = 400 cm

bentang pelat sumbu pendek (L_x) = 575 cm

faktor reduksi (ϕ) = 0,8

$$\begin{aligned} q_u &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\ &= (1,2 \cdot 134 \text{ kg/m}^2) + (1,6 \cdot 250 \text{ kg/m}^2) \\ &= 560,8 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$



Gambar 4. 2. Pelat Lantai Tipe E

- Rasio sumbu panjang dan sumbu pendek bentang pelat

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{575 \text{ cm}}{400 \text{ cm}} = 1,4 \geq 2,5 \rightarrow \text{pelat dua arah}$$

- Perhitungan momen pelat menggunakan ***tabel 13.3.1 PBBI 1971*** :

Dengan,

$$\text{Lapangan : } M_{lx} = 34 \text{ dan } M_{ly} = 18$$

$$\text{Tumpuan : } M_{tx} = 73 \text{ dan } M_{ty} = 57$$

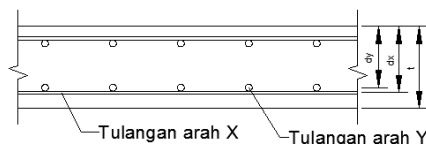
Sehingga,

$$\begin{aligned} M_{lx} &= 0,001 \cdot q \cdot lx^2 \cdot X \\ &= 0,001 \cdot 560,8 \text{ kg/m}^2 \cdot (4 \text{ m})^2 \cdot 34 \\ &= 305,08 \text{ kg.m} \\ &= 3.050.752 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ly} &= 0,001 \cdot q \cdot lx^2 \cdot X \\ &= 0,001 \cdot 560,8 \text{ kg/m}^2 \cdot (4 \text{ m})^2 \cdot 18 \\ &= 161,51 \text{ kg.m} \\ &= 1.615.104 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{tx} &= 0,001 \cdot q \cdot lx^2 \cdot X \\ &= 0,001 \cdot 560,8 \text{ kg/m}^2 \cdot (4 \text{ m})^2 \cdot 73 \\ &= 655,01 \text{ kg.m} \\ &= 6.550.144 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ty} &= 0,001 \cdot q \cdot lx^2 \cdot X \\ &= 0,001 \cdot 560,8 \text{ kg/m}^2 \cdot (4 \text{ m})^2 \cdot 57 \\ &= 511,45 \text{ kg.m} \\ &= 5.114.496 \text{ Nmm} \end{aligned}$$



Gambar 4.4 Asumsi tinggi manfaat pelat, d_x dan d_y

$$\begin{aligned} d_x &= t - \text{decking} - \frac{1}{2} \phi_{\text{tulangan}} \\ &= 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - \frac{1}{2} \cdot 12 \text{ mm} \\ &= 94 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_y &= t - \text{decking} - \emptyset \text{tulangan} - \frac{1}{2} \emptyset \text{tulangan} \\ &= 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 12 \text{ mm} - \frac{1}{2} \cdot 12 \text{ mm} \\ &= 82 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{240} = 0,0058$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 12.5.1)

$$\begin{aligned}\rho_{\text{balance}} &= \frac{0,85 \beta_1 f_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &\quad \text{(SNI 03-2847-2002 pasal 10.4.3)} \\ &= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 25}{240} \left(\frac{600}{600 + 240} \right) \\ &= 0,0537\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{maks}} &= 0,75 \text{ } \mu\text{b} \\ &\quad \text{(SNI 03-2847-2002 pasal 12.3.3)} \\ &= 0,75 \cdot 0,0537 \\ &= 0,0403\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{fy}{0,85 \cdot f_c'} \\ &= \frac{240}{0,85 \cdot 25} \\ &= 11,29 \end{aligned}$$

- Lapangan Arah X

$$M_{lx} = 3.050.752 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{Ix}}{\phi} = \frac{3.050.752 \text{ Nmm}}{0,8} = 3.813.440 \text{ Nmm}$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 16.8.3)

$$R_n = \frac{Mn}{bd^2} = \frac{3813440 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \cdot (94 \text{ mm})^2} = 0,43$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right]$$

$$= \frac{1}{11,29} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,29 \cdot 0,43}{240}} \right]$$

$$= 0,0018$$

maka, ρ_{perlu} dinaikkan 30%

$$\rho_{\text{perlu}} = 1,3 \cdot 0,0018 = 0,0024$$

Cek persyaratan :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0058 < 0,0024 < 0,0403 \text{ (tidak memenuhi)}$$

Maka ρ pakai adalah $\rho_{\min} = 0,0058$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot dx$$

$$= 0,0058 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 94 \text{ mm}$$

$$= 545,2 \text{ mm}^2$$

▪ Kontrol jarak spasi tulangan

$$S_{\max} \leq 2 \cdot h$$

$$\leq 2 \cdot 120 \text{ mm}$$

$$\leq 240 \text{ mm}$$

▪ Dipakai tulangan $\emptyset 12$, sehingga jarak antar tulangan

$$S = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{S_{\text{perlu}}}}$$

$$= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (12 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{545,2 \text{ mm}^2}$$

$$= 207,34 \text{ mm}$$

$$S = 207,34 \text{ mm} < S_{\max} = 240 \text{ mm} \rightarrow S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$$

▪ Tulangan yang dipakai $\emptyset 12 - 200 \text{ mm}$

$$A_{S_{\text{pakai}}} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (12 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}^2}$$

$$= 565,2 \text{ mm}^2 > A_{S_{\text{perlu}}} = 545,2 \text{ mm}^2$$

(memenuhi)

- Lapangan Arah Y

$$M_{ly} = 1.615.104 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{ly}}{\phi} = \frac{1615104 \text{ Nmm}}{0,8} = 2.018.880 \text{ Nmm}$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 16.8.3)

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{2018880 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \cdot (82 \text{ mm})^2} = 0,3$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{11,29} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,29 \cdot 0,3}{240}} \right] \\ &= 0,0013 \end{aligned}$$

maka, ρ_{perlu} dinaikkan 30%

$$\rho_{\text{perlu}} = 1,3 \cdot 0,0013 = 0,0016$$

Cek persyaratan :

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &< \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \\ 0,0058 &< 0,0016 < 0,0403 \quad (\text{tidak memenuhi}) \end{aligned}$$

Maka ρ pakai adalah $\rho_{\min} = 0,0058$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d_y \\ &= 0,0058 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 82 \text{ mm} \\ &= 475,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

▪ Kontrol jarak spasi tulangan

$$\begin{aligned} S_{\max} &\leq 2 \cdot h \\ &\leq 2 \cdot 120 \text{ mm} \\ &\leq 240 \text{ mm} \end{aligned}$$

▪ Dipakai tulangan $\emptyset 12$, sehingga jarak antar tulangan

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{s_{\text{perlu}}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (12 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{475,6 \text{ mm}^2} \\ &= 237,68 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S = 237,68 \text{ mm} > S_{\max} = 240 \text{ mm} \rightarrow S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$$

- Tulangan yang dipakai \emptyset 12 - 200 mm

$$\begin{aligned}
 A_{s_{pakai}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{S_{pakai}} \\
 &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (12 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}^2} \\
 &= 565,2 \text{ mm}^2 > A_{s_{perlu}} = 475,6 \text{ mm}^2 \\
 &\quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

- Tumpuan Arah X

$$M_{tx} = 6.550.144 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{tx}}{\emptyset} = \frac{6550144 \text{ Nmm}}{0,8} = 8.187.680 \text{ Nmm}$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 16.8.3)

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{8187680 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \cdot (94 \text{ mm})^2} = 0,93$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{11,29} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,29 \cdot 0,93}{240}} \right] \\
 &= 0,0039
 \end{aligned}$$

maka, ρ_{perlu} dinaikkan 30%

$$\rho_{perlu} = 1,3 \cdot 0,0039 = 0,0051$$

Cek persyaratan :

$$\begin{array}{ccccc}
 \rho_{min} & < & \rho_{perlu} & < & \rho_{maks} \\
 0,0058 & < & 0,0051 & < & 0,0403 \quad (\text{tidak memenuhi})
 \end{array}$$

Maka ρ pakai adalah $\rho_{min} = 0,0058$

$$\begin{aligned}
 A_{s_{perlu}} &= \rho_{perlu} \cdot b \cdot d_x \\
 &= 0,0058 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 94 \text{ mm} \\
 &= 545,2 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Kontrol jarak spasi tulangan

$$\begin{aligned}
 S_{\max} &\leq 2 \cdot h \\
 &\leq 2 \cdot 120 \text{ mm} \\
 &\leq 240 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Dipakai tulangan $\emptyset 12$, sehingga jarak antar tulangan

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{s_{\text{perlu}}}} \\
 &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (12 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{545,2 \text{ mm}^2} \\
 &= 207,34 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S = 207,34 \text{ mm} > S_{\max} = 240 \text{ mm} \rightarrow S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$$

- Tulangan yang dipakai $\emptyset 12 - 200 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 A_{s_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\
 &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (12 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}^2} \\
 &= 565,2 \text{ mm}^2 > A_{s_{\text{perlu}}} = 545,2 \text{ mm}^2 \\
 &\quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

- Tulangan Susut (*SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.a*)

Pelat yang menggunakan batang tulangan ulir mutu 300 dipakai $\rho_{\text{susut}} = 0,002$.

$$\begin{aligned}
 A_{s_{\text{susut}}} &= \rho_{\text{susut}} \cdot b \cdot \text{tebal pelat} \\
 &= 0,002 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 120 \text{ mm} \\
 &= 240 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$S_{\max} \leq 5h \text{ atau } S_{\max} \leq 450 \text{ mm}$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.2)

$$S_{\max} = 5 \cdot 120 \text{ mm} = 600 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan $\emptyset 10$

$$S = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{s_{\text{susut}}}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{240 \text{ mm}^2} \\
 &= 327,08 \text{ mm} \\
 S &= 327,08 \text{ mm} < S_{\max} = 600 \text{ mm} \rightarrow S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Tulangan yang dipakai \emptyset 10 - 200 mm

$$\begin{aligned}
 A_{S_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\
 &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}^2} \\
 &= 392,5 \text{ mm}^2 > A_{S_{\text{susut}}} = 240 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

- Tumpuan Arah Y

$$M_{ty} = 5.114.496 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{ty}}{\emptyset} = \frac{5114496 \text{ Nmm}}{0,8} = 6.393.120 \text{ Nmm}$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 16.8.3)

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{6393120 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \cdot (82 \text{ mm})^2} = 0,95$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{11,29} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,29 \cdot 0,95}{240}} \right] \\
 &= 0,0041
 \end{aligned}$$

maka, ρ_{perlu} dinaikkan 30%

$$\rho_{\text{perlu}} = 1,3 \cdot 0,0041 = 0,0053$$

Cek persyaratan :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0058 < 0,0019 < 0,0403 \quad (\text{tidak memenuhi})$$

Maka ρ pakai adalah $\rho_{\min} = 0,0058$

$$\begin{aligned}
 A_{S_{\text{perlu}}} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d_y \\
 &= 0,0058 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 82 \text{ mm} \\
 &= 475,6 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Kontrol jarak spasi tulangan

$$\begin{aligned} S_{\max} &\leq 2 \cdot h \\ &\leq 2 \cdot 120 \text{ mm} \\ &\leq 240 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Dipakai tulangan $\emptyset 12$, sehingga jarak antar tulangan

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{s\text{perlu}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (12 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{475,6 \text{ mm}^2} \\ &= 237,68 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S = 237,68 \text{ mm} < S_{\max} = 240 \text{ mm} \rightarrow S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$$

- Tulangan yang dipakai $\emptyset 12$ - 200 mm

$$\begin{aligned} A_{s\text{pakai}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (12 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}^2} \\ &= 565,2 \text{ mm}^2 > A_{s\text{perlu}} = 475,6 \text{ mm}^2 \\ &\quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

- Tulangan Susut (*SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.a*)

Pelat yang menggunakan batang tulangan ulir mutu 300 dipakai $\rho_{\text{susut}} = 0,002$.

$$\begin{aligned} A_{s\text{susut}} &= \rho_{\text{susut}} \cdot b \cdot \text{tebal pelat} \\ &= 0,002 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 120 \text{ mm} \\ &= 240 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$S_{\max} \leq 5h \text{ atau } S_{\max} \leq 450 \text{ mm}$$

(*SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.2*)

$$S_{\max} = 5 \cdot 120 \text{ mm} = 600 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan $\emptyset 10$

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{s\text{susut}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{240 \text{ mm}^2} \\ &= 327,08 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S = 327,08 \text{ mm} < S_{\max} = 600 \text{ mm} \rightarrow S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai $\emptyset 10 - 200 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}^2} \\ &= 392,5 \text{ mm}^2 > A_{s_{\text{susut}}} = 240 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

➤ **Pelat Lantai Tipe G**

Data Perencanaan :

Mutu beton (f_c') = 25 MPa

Mutu baja (f_y) = 240 MPa

Tebal pelat (t) = 120 mm

decking = 20 mm

(SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1.c)

$\beta = 0,85$

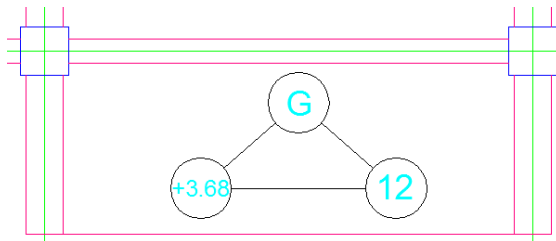
(SNI 03-2847-2002 pasal 10.2.7.3)

bentang pelat sumbu panjang (L_y) = 130 cm

bentang pelat sumbu pendek (L_x) = 400 cm

faktor reduksi (ϕ) = 0,8

$$\begin{aligned} q_u &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\ &= (1,2 \cdot 134 \text{ kg/m}^2) + (1,6 \cdot 250 \text{ kg/m}^2) \\ &= 560,8 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$



Gambar 4. 3. Pelat Lantai Tipe G

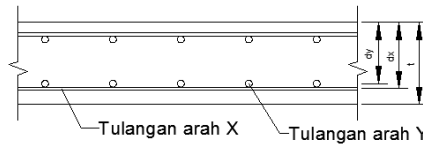
- Rasio sumbu panjang dan sumbu pendek bentang pelat

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{400 \text{ cm}}{130 \text{ cm}} = 3,1 \geq 2,5 \rightarrow \text{pelat satu arah}$$

- Momen nominal pada lapangan dan tumpuan
Sehingga,

$$\begin{aligned} \text{Mu lapangan} &= 1/16 \cdot q_u \cdot l_x^2 \\ &= 1/16 \cdot 560,8 \text{ kg/m}^2 \cdot (4 \text{ m})^2 \\ &= 560,8 \text{ kg.m} \\ &= 5.608.000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mu tumpuan} &= 1/24 \cdot q_u \cdot l_x^2 \\ &= 1/24 \cdot 560,8 \text{ kg/m}^2 \cdot (4 \text{ m})^2 \\ &= 373,87 \text{ kg.m} \\ &= 3.738.666,7 \text{ Nmm} \end{aligned}$$



Gambar 4. 4. Asumsi Tinggi Manfaat Pelat d_x dan d_y

$$\begin{aligned} d &= t - \text{decking} - \frac{1}{2} \phi_{\text{tulangan}} \\ &= 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - \frac{1}{2} \cdot 12 \text{ mm} \\ &= 94 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{240} = 0,0058$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 12.5.1)

$$\begin{aligned} \rho_{\text{balance}} &= \frac{0,85 \beta_1 f_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &\quad \text{(SNI 03-2847-2002 pasal 10.4.3)} \\ &= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 25}{240} \left(\frac{600}{600 + 240} \right) \end{aligned}$$

$$= 0,0537$$

$$\rho_{\text{maks}} = 0,75 \rho_b$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 12.3.3)

$$= 0,75 \cdot 0,0537$$

$$= 0,0403$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \\ &= \frac{240}{0,85 \cdot 25} \\ &= 11,29 \end{aligned}$$

- Tulangan Lapangan

$$M_l = 5.608.000 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{lx}}{\phi} = \frac{5608000 \text{ Nmm}}{0,8} = 7.010.000 \text{ Nmm}$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 16.8.3)

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{7010000 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \cdot (94 \text{ mm})^2} = 0,79$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{11,29} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,29 \cdot 0,79 \text{ N/mm}^2}{240 \text{ N/mm}^2}} \right] \\ &= 0,0034 \end{aligned}$$

maka, ρ_{perlu} dinaikkan 30%

$$\rho_{\text{perlu}} = 1,3 \cdot 0,0034 = 0,0044$$

Cek persyaratan :

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{maks}}$$

$$0,0058 < 0,0044 < 0,0403 \text{ (tidak memenuhi)}$$

Maka ρ pakai adalah $\rho_{\text{min}} = 0,0058$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d \\ &= 0,0058 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 94 \text{ mm} \\ &= 545,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Kontrol jarak spasi tulangan

$$\begin{aligned} S_{\max} &\leq 2 \cdot h \\ &\leq 2 \cdot 120 \text{ mm} \\ &\leq 240 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Dipakai tulangan $\emptyset 12$, sehingga jarak antar tulangan

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{s\text{perlu}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (12 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{545,2 \text{ mm}^2} \\ &= 207,34 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S = 207,34 \text{ mm} < S_{\max} = 240 \text{ mm} \rightarrow S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$$

- Tulangan yang dipakai $\emptyset 12 - 200 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} A_{s\text{pakai}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (12 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}^2} \\ &= 565,2 \text{ mm}^2 > A_{s\text{perlu}} = 545,2 \text{ mm}^2 \\ &\quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

- Tulangan Tumpuan

$$M_t = 3.738.666,7 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{tx}}{\emptyset} = \frac{3738666,7 \text{ Nmm}}{0,8} = 4.673.333,3 \text{ Nmm}$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 16.8.3)

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{4673333,3 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \cdot (94 \text{ mm})^2} = 0,53$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{11,29} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,29 \cdot 0,53}{240}} \right] \\ &= 0,0022 \end{aligned}$$

maka, ρ_{perlu} dinaikkan 30%

$$\rho_{\text{perlu}} = 1,3 \cdot 0,0022 = 0,0029$$

Cek persyaratan :

$$\begin{array}{rcl} \rho_{\min} & < & \rho_{\text{perlu}} & < & \rho_{\text{maks}} \\ 0,0058 & < & 0,0029 & < & 0,0403 \quad (\text{tidak memenuhi}) \end{array}$$

Maka ρ pakai adalah $\rho_{\min} = 0,0058$

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{perlu}}} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d \\ &= 0,0058 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 94 \text{ mm} \\ &= 545,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Kontrol jarak spasi tulangan

$$\begin{aligned} S_{\max} &\leq 2 \cdot h \\ &\leq 2 \cdot 120 \text{ mm} \\ &\leq 240 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Dipakai tulangan $\emptyset 12$, sehingga jarak antar tulangan

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{S_{\text{perlu}}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (12 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{545,2 \text{ mm}^2} \\ &= 207,34 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S = 207,34 \text{ mm} > S_{\max} = 240 \text{ mm} \rightarrow S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$$

- Tulangan yang dipakai $\emptyset 12$ - 200 mm

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (12 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}^2} \\ &= 565,2 \text{ mm}^2 > A_{S_{\text{perlu}}} = 545,2 \text{ mm}^2 \\ &\quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

- Tulangan Susut (*SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.a*)

Pelat yang menggunakan batang tulangan ulir mutu 300 dipakai $\rho_{\text{susut}} = 0,002$.

$$\begin{aligned}
 A_{s_{\text{susut}}} &= \rho_{\text{susut}} \cdot b \cdot \text{tebal pelat} \\
 &= 0,002 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 120 \text{ mm} \\
 &= 240 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$S_{\text{max}} \leq 5h \text{ atau } S_{\text{max}} \leq 450 \text{ mm}$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.2)

$$S_{\text{max}} = 5 \cdot 120 \text{ mm} = 600 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan Ø 10

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{s_{\text{susut}}}} \\
 &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{240 \text{ mm}^2} \\
 &= 327,08 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S = 327,08 \text{ mm} < S_{\text{max}} = 600 \text{ mm} \rightarrow S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai Ø 10 - 200 mm

$$\begin{aligned}
 A_{s_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\
 &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}^2} \\
 &= 392,5 \text{ mm}^2 > A_{s_{\text{susut}}} = 240 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

➤ **Pelat Lantai Tipe B (Atap)**

Data Perencanaan :

Mutu beton (f_c') = 25 MPa

Mutu baja (f_y) = 240 MPa

Tebal pelat (t) = 120 mm

decking = 40 mm

(SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1.b)

β = 0,85

(SNI 03-2847-2002 pasal 10.2.7.3)

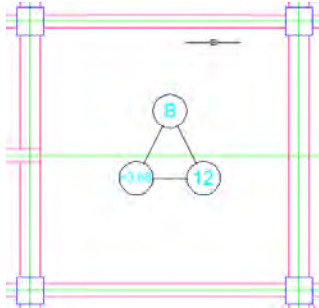
bentang pelat sumbu panjang (L_y) = 400 cm

bentang pelat sumbu pendek (L_x) = 400 cm

faktor reduksi (ϕ) = 0,8

$$q_u = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

$$\begin{aligned}
 &= (1,2 \cdot 82 \text{ kg/m}^2) + (1,6 \cdot 100 \text{ kg/m}^2) \\
 &= 258,4 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 5. Pelat Lantai Tipe B

- Rasio sumbu panjang dan sumbu pendek bentang pelat

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{400 \text{ cm}}{400 \text{ cm}} = 1 \geq 2,5 \rightarrow \text{pelat dua arah}$$

- Perhitungan momen pelat menggunakan *tabel 13.3.1 PBBI 1971* :

Dengan,

$$\text{Lapangan : } M_{lx} = 21 \text{ dan } M_{ly} = 21$$

$$\text{Tumpuan : } M_{tx} = 52 \text{ dan } M_{ty} = 52$$

Sehingga,

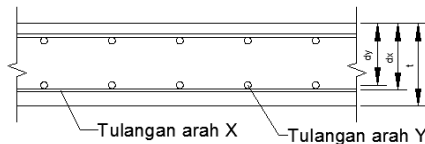
$$\begin{aligned}
 M_{lx} &= 0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X \\
 &= 0,001 \cdot 258,4 \text{ kg/m}^2 \cdot (4 \text{ m})^2 \cdot 21 \\
 &= 86,2 \text{ kg.m} \\
 &= 868224 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{ly} &= 0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X \\
 &= 0,001 \cdot 258,4 \text{ kg/m}^2 \cdot (4 \text{ m})^2 \cdot 21 \\
 &= 85,82 \text{ kg.m} \\
 &= 868224 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{tx} &= 0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X \\
 &= 0,001 \cdot 258,4 \text{ kg/m}^2 \cdot (4 \text{ m})^2 \cdot 52
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 214,99 \text{ kg.m} \\
 &= 2.149.888 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{ty} &= 0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X \\
 &= 0,001 \cdot 258,4 \text{ kg/m}^2 \cdot (4 \text{ m})^2 \cdot 52 \\
 &= 214,99 \text{ kg.m} \\
 &= 2.149.888 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 6. Asumsi Tinggi Manfaat Pelat d_x dan d_y

$$\begin{aligned}
 d_x &= t - \text{decking} - \frac{1}{2} \phi_{\text{tulangan}} \\
 &= 120 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - \frac{1}{2} \cdot 12 \text{ mm} \\
 &= 74 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_y &= t - \text{decking} - \phi_{\text{tulangan}} - \frac{1}{2} \phi_{\text{tulangan}} \\
 &= 120 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 12 \text{ mm} - \frac{1}{2} \cdot 12 \text{ mm} \\
 &= 62 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{240} = 0,0058$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 12.5.1)

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \beta_1 f_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 10.4.3)

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 25}{240} \left(\frac{600}{600 + 240} \right) \\
 &= 0,0538
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{maks}} = 0,75 \rho_b$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 12.3.3)

$$= 0,75 \cdot 0,0537$$

$$= 0,0403$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'}$$

$$= \frac{240}{0,85 \cdot 25}$$

$$= 11,29$$

- Lapangan Arah X

$$M_{lx} = 868.224 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{lx}}{\phi} = \frac{868224 \text{ Nmm}}{0,8} = 1.085.280 \text{ Nmm}$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 16.8.3)

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{1085280 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \cdot (74 \text{ mm})^2} = 0,2$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{11,29} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,29 \cdot 0,2}{240}} \right]$$

$$= 0,0008$$

maka, ρ_{perlu} dinaikkan 30%

$$\rho_{\text{perlu}} = 1,3 \cdot 0,0011 = 0,0024$$

Cek persyaratan :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0058 < 0,0024 < 0,0403 \text{ (tidak memenuhi)}$$

Maka ρ pakai adalah $\rho_{\min} = 0,0058$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d_x$$

$$= 0,0058 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 74 \text{ mm}$$

$$= 429,2 \text{ mm}^2$$

▪ Kontrol jarak spasi tulangan

$$S_{\max} \leq 2 \cdot h$$

$$\leq 2 \cdot 120 \text{ mm}$$

$$\leq 240 \text{ mm}$$

- Dipakai tulangan $\emptyset 12$, sehingga jarak antar tulangan

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{s_{\text{perlu}}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (12 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{429,2 \text{ mm}^2} \\ &= 263,37 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S = 263,37 \text{ mm} < S_{\text{max}} = 240 \text{ mm} \rightarrow S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$$

- Tulangan yang dipakai $\emptyset 12 - 200 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (12 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}^2} \\ &= 565,2 \text{ mm}^2 > A_{s_{\text{perlu}}} = 429,2 \text{ mm}^2 \\ &\quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

- Lapangan Arah Y

$$M_{ly} = 868.224 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{ly}}{\emptyset} = \frac{868224 \text{ Nmm}}{0,8} = 1.085.280 \text{ Nmm}$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 16.8.3)

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{2018880 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \cdot (62 \text{ mm})^2} = 0,3$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{11,29} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,29 \cdot 0,3}{240}} \right] \\ &= 0,0012 \end{aligned}$$

maka, ρ_{perlu} dinaikkan 30%

$$\rho_{\text{perlu}} = 1,3 \cdot 0,0012 = 0,0015$$

Cek persyaratan :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{maks}}$$

$$0,0058 < 0,0016 < 0,0403 \text{ (tidak memenuhi)}$$

Maka ρ pakai adalah $\rho_{\min} = 0,0058$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d_y \\ &= 0,0058 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 62 \text{ mm} \\ &= 359,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

▪ Kontrol jarak spasi tulangan

$$\begin{aligned} S_{\max} &\leq 2 \cdot h \\ &\leq 2 \cdot 120 \text{ mm} \\ &\leq 240 \text{ mm} \end{aligned}$$

▪ Dipakai tulangan $\emptyset 12$, sehingga jarak antar tulangan

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{s_{\text{perlu}}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (12 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{359,6 \text{ mm}^2} \\ &= 314,35 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S = 314,35 \text{ mm} > S_{\max} = 240 \text{ mm} \rightarrow S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$$

▪ Tulangan yang dipakai $\emptyset 12 - 200 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (12 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}^2} \\ &= 565,2 \text{ mm}^2 > A_{s_{\text{perlu}}} = 359,6 \text{ mm}^2 \\ &\quad \text{(memenuhi)} \end{aligned}$$

- Tumpuan Arah X

$$M_{tx} = 2.149.888 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{tx}}{\phi} = \frac{2149888 \text{ Nmm}}{0,8} = 2.687.360 \text{ Nmm}$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 16.8.3)

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{8187680 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \cdot (74 \text{ mm})^2} = 0,5$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right] \\ &= \frac{1}{11,29} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,29 \cdot 0,5}{240}} \right] \\ &= 0,0021\end{aligned}$$

maka, ρ_{perlu} dinaikkan 30%

$$\rho_{\text{perlu}} = 1,3 \cdot 0,0021 = 0,0027$$

Cek persyaratan :

$$\begin{array}{ccccc}\rho_{\min} & < & \rho_{\text{perlu}} & < & \rho_{\max} \\ 0,0058 & < & 0,0027 & < & 0,0403 \text{ (tidak memenuhi)}\end{array}$$

Maka ρ pakai adalah $\rho_{\min} = 0,0058$

$$\begin{aligned}A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d_x \\ &= 0,0058 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 74 \text{ mm} \\ &= 429,2 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

▪ Kontrol jarak spasi tulangan

$$\begin{aligned}S_{\max} &\leq 2 \cdot h \\ &\leq 2 \cdot 120 \text{ mm} \\ &\leq 240 \text{ mm}\end{aligned}$$

▪ Dipakai tulangan $\emptyset 12$, sehingga jarak antar tulangan

$$\begin{aligned}S &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{s_{\text{perlu}}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (12 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{429,2 \text{ mm}^2} \\ &= 263,37 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$S = 263,37 \text{ mm} > S_{\max} = 240 \text{ mm} \rightarrow S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$$

▪ Tulangan yang dipakai $\emptyset 12$ - 200 mm

$$A_{s_{\text{pakai}}} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (12 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}^2} \\
 &= 565,2 \text{ mm}^2 > A_{s_{\text{perlu}}} = 429,2 \text{ mm}^2 \\
 &\quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

▪ Tulangan Susut (*SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.a*)

Pelat yang menggunakan batang tulangan ulir mutu 300 dipakai $\rho_{\text{susut}} = 0,002$.

$$\begin{aligned}
 A_{s_{\text{susut}}} &= \rho_{\text{susut}} \cdot b \cdot \text{tebal pelat} \\
 &= 0,002 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 120 \text{ mm} \\
 &= 240 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$S_{\text{max}} \leq 5h \text{ atau } S_{\text{max}} \leq 450 \text{ mm}$$

(*SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.2*)

$$S_{\text{max}} = 5 \cdot 120 \text{ mm} = 600 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan Ø 10

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{s_{\text{susut}}}} \\
 &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{240 \text{ mm}^2} \\
 &= 327,08 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S = 327,08 \text{ mm} < S_{\text{max}} = 600 \text{ mm} \rightarrow S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai Ø 10 - 200 mm

$$\begin{aligned}
 A_{s_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\
 &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}^2} \\
 &= 392,5 \text{ mm}^2 > A_{s_{\text{susut}}} = 240 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

- Tumpuan Arah Y

$$M_{ty} = 2.149.888 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{ty}}{\phi} = \frac{2149888 \text{ Nmm}}{0,8} = 2.687.360 \text{ Nmm}$$

(*SNI 03-2847-2002 pasal 16.8.3*)

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{2687360 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \cdot (62 \text{ mm})^2} = 0,7$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{11,29} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,29 \cdot 0,7}{240}} \right] \\ &= 0,003\end{aligned}$$

maka, ρ_{perlu} dinaikkan 30%

$$\rho_{\text{perlu}} = 1,3 \cdot 0,003 = 0,0039$$

Cek persyaratan :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0058 < 0,0039 < 0,0403 \quad (\text{tidak memenuhi})$$

Maka ρ pakai adalah $\rho_{\min} = 0,0058$

$$\begin{aligned}A_{S_{\text{perlu}}} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d_y \\ &= 0,0058 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 62 \text{ mm} \\ &= 359,6 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

▪ Kontrol jarak spasi tulangan

$$\begin{aligned}S_{\max} &\leq 2 \cdot h \\ &\leq 2 \cdot 120 \text{ mm} \\ &\leq 240 \text{ mm}\end{aligned}$$

▪ Dipakai tulangan $\emptyset 12$, sehingga jarak antar tulangan

$$\begin{aligned}S &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{S_{\text{perlu}}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (12 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{359,6 \text{ mm}^2} \\ &= 314,35 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$S = 314,35 \text{ mm} < S_{\max} = 240 \text{ mm} \rightarrow S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$$

▪ Tulangan yang dipakai $\emptyset 12 - 200 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}A_{S_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (12 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}^2}\end{aligned}$$

$$= 565,2 \text{ mm}^2 > A_{s_{\text{perlu}}} = 359,6 \text{ mm}^2$$

(memenuhi)

▪ Tulangan Susut (*SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.a*)

Pelat yang menggunakan batang tulangan ulir mutu 300 dipakai $\rho_{\text{susut}} = 0,002$.

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{susut}}} &= \rho_{\text{susut}} \cdot b \cdot \text{tebal pelat} \\ &= 0,002 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 120 \text{ mm} \\ &= 240 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$S_{\text{max}} \leq 5h \text{ atau } S_{\text{max}} \leq 450 \text{ mm}$$

(*SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.2*)

$$S_{\text{max}} = 5 \cdot 120 \text{ mm} = 600 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan $\emptyset 10$

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{s_{\text{susut}}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{240 \text{ mm}^2} \\ &= 327,08 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S = 327,08 \text{ mm} < S_{\text{max}} = 600 \text{ mm} \rightarrow S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai $\emptyset 10 - 200 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}^2} \\ &= 392,5 \text{ mm}^2 > A_{s_{\text{susut}}} = 240 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

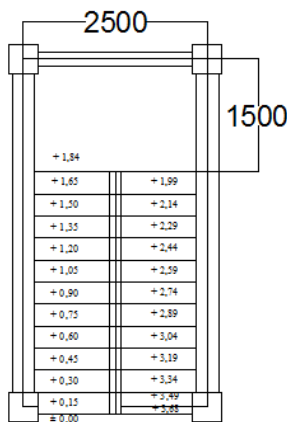
4.3. PERHITUNGAN TANGGA

Tangga merupakan bagian dari elemen konstruksi yang berfungsi sebagai penghubung antara lantai satu dengan lantai yang lain. Perencanaan tangga dihitung dalam satu perhitungan karena elevasi tiap lantai mempunyai ketinggian dan ukuran yang sama.

4.3.1. PERENCANAAN DIMENSI TANGGA

Dimensi awal tangga direncanakan sebagai berikut :

ketinggian tiap lantai (h)	= 368 cm
elevasi lantai bordes	= 184 cm
panjang tangga	= 418 cm
lebar tangga	= 250 cm
tebal rencana pelat tangga	= 15 cm
tebal rencana pelat bordes	= 15 cm
lebar injakan (i)	= 30 cm
tinggi tanjakan (t)	= 15 cm



Gambar 4. 7. Denah Rencana Tangga

- sudut kemiringan tangga

$$\begin{aligned}\alpha &= \arctan \frac{\frac{1}{2} \text{tinggi tangga}}{\text{panjang tangga}} \\ &= \arctan \frac{1.84}{2.68} \\ &= 34,47^\circ \approx 35^\circ\end{aligned}$$

- syarat sudut kemiringan tangga

$$25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$$

$$25^\circ \leq 35^\circ \leq 40^\circ \quad (\text{memenuhi})$$

- syarat lebar injakan dan tinggi tanjakan

$$60 \text{ cm} \leq 2t + i \leq 65 \text{ cm}$$

$$60 \text{ cm} \leq (2 \cdot 15 \text{ cm}) + 30 \text{ cm} \leq 65 \text{ cm}$$

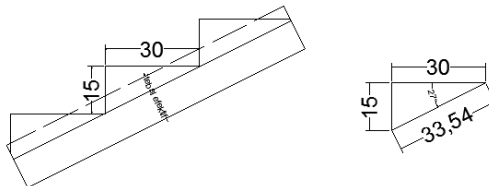
$$60 \text{ cm} \leq 60 \text{ cm} \leq 65 \text{ cm} \quad (\text{memenuhi})$$

- jumlah tanjakan

$$\begin{aligned}nt &= \frac{\text{tinggi pelat anak tangga}}{t} \\ &= \frac{184 \text{ cm}}{15 \text{ cm}} \\ &= 12 \text{ buah}\end{aligned}$$

- jumlah injakan

$$\begin{aligned}ni &= nt - 1 \\ &= 12 - 1 \\ &= 11 \text{ buah}\end{aligned}$$



Gambar 4. 8. Gambar Detail Tangga

- tebal efektif pelat anak tangga

$$\begin{aligned}\text{Luas } \Delta_1 &= \frac{1}{2} \cdot i \cdot t \\ &= \frac{1}{2} \cdot 30 \text{ cm} \cdot 15 \text{ cm} \\ &= 225 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas } \Delta_2 &= \frac{1}{2} \cdot \left(\sqrt{i^2 + t^2} \right) \cdot d \\ &= \frac{1}{2} \cdot \left(\sqrt{30 \text{ cm}^2 + 15 \text{ cm}^2} \right) \cdot d \\ &= 1 \text{ cm} \cdot d\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas } \Delta_1 &= \text{Luas } \Delta_2 \\ d &= 17,88 \text{ cm} \\ \frac{1}{2} d &= 8,94 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{tebal efektif pelat tangga} &= 15 \text{ cm} + 8,94 \text{ cm} \\ &= 23,94 \text{ cm} \approx 24 \text{ cm}\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas, dihasilkan tebal pelat tangga 24 cm dan tebal bordes tangga 15 cm.

4.3.2. PEMBEBANAN TANGGA DAN BORDES

Pembebanan beban yang ada pada komponen struktur tangga disesuaikan dengan *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 (PPIUG 1983)*. Dan karena komponen struktur tangga merupakan salah satu komponen struktur sekunder maka direncanakan hanya menerima beban mati (DL) dan beban hidup (LL). Dalam hal ini, perhitungan beban-beban tangga dibagi atas pembebanan pada anak tangga dan pembebanan pada bordes.

a. Pembebanan Anak Tangga

- Beban Mati

$$\begin{aligned}\text{Berat pelat (24 cm)} &= 0,24 \text{ m} \cdot 2400 \text{ kg/m}^3 = 576 \text{ kg/m}^2 \\ &(\text{sudah dimodelkan di SAP 2000})\end{aligned}$$

$$\text{Berat railing tangga} = 10 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat spesi 1 cm} = 1 \cdot 21 \text{ kg/m}^2 = 21 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat keramik 1 cm} = 1 \cdot 24 \text{ kg/m}^2 = \underline{\underline{24 \text{ kg/m}^2 +}}$$

$$q_{DL} = 631 \text{ kg/m}^2$$

- Beban Hidup

Berat hidup tangga

$$q_{LL} = 300 \text{ kg/m}^2$$

b. Pembebanan Bordes

- Beban Mati

Berat pelat (15 cm) = $0,15 \text{ m} \cdot 2400 \text{ kg/m}^3 = 360 \text{ kg/m}^2$
(sudah dimodelkan di SAP 2000)

Berat spesi 1 cm = $1 \cdot 21 \text{ kg/m}^2 = 21 \text{ kg/m}^2$

Berat keramik 1 cm = $1 \cdot 24 \text{ kg/m}^2 = 24 \text{ kg/m}^2$

$$q_{DL} = 405 \text{ kg/m}^2$$

- Beban Hidup

Berat hidup bordes

$$q_{LL} = 300 \text{ kg/m}^2$$

4.3.3. PENULANGAN PELAT TANGGA

Data Perencanaan :

Mutu beton (f_c') = 25 MPa

Mutu baja (f_y) = 240 MPa

Tebal pelat (t) = 210 mm

\emptyset tulangan lentur = 10 mm

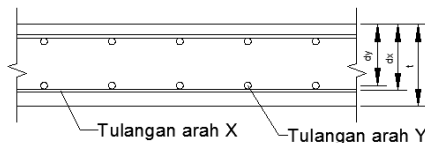
\emptyset tulangan susut = 8 mm

decking = 20 mm

β = 0,85

(SNI 03-2847-2002 pasal 12.2.7.3)

faktor reduksi (ϕ) = 0,8 (SNI 03-2847-2002 pasal 11.3.2)



Gambar 4. 9. Potongan Pelat Tangga

$$d_x = t - \text{decking} - \frac{1}{2} \emptyset \text{tulangan}$$

$$\begin{aligned}
 &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - \frac{1}{2} 10 \text{ mm} \\
 &= 125 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_y &= t - \text{decking} - \emptyset \text{tulangan} - \frac{1}{2} \emptyset \text{tulangan} \\
 &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - \frac{1}{2} 10 \text{ mm} \\
 &= 115 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{240} = 0,0058$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 12.5.1)

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \beta_1 f_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 10.4.3)

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 25}{240} \left(\frac{600}{600 + 240} \right) \\
 &= 0,0537
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{maks}} &= 0,75 \rho_b && (\text{SNI 03-2847-2002 pasal 12.3.3}) \\
 &= 0,75 \cdot 0,0537 \\
 &= 0,0403
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \\
 &= \frac{240}{0,85 \cdot 25} \\
 &= 11,29
 \end{aligned}$$

- Penulangan Arah X

$$M_{11} = 10\,549\,500 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{ty}}{\phi} = \frac{10549500 \text{ Nmm}}{0,8} = 13\,186\,875 \text{ Nmm}$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 16.8.3)

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{13186875 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \cdot (125 \text{ mm})^2} = 0,98$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{11,29} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,29 \cdot 0,98}{240}} \right]$$

$$= 0,00425$$

Cek persyaratan :

$$\begin{array}{lll} \rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \\ 0,0058 < 0,0055 < 0,0403 \quad (\text{tidak memenuhi}) \end{array}$$

$$\begin{aligned} \text{Perbesaran } 30\% \rho_{\text{perlu}} &= 1,3 \times 0,00425 \\ &= 0,00553 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d \\ &= 0,00553 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 125 \text{ mm} \\ &= 489,55 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Kontrol jarak spasi tulangan

$$\begin{aligned} S_{\max} &\leq 2 \cdot h \\ &\leq 2 \cdot 150 \text{ mm} \\ &\leq 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Dipakai tulangan $\emptyset 10$, sehingga jarak antar tulangan

$$\begin{aligned} S &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b} \\ &= \frac{489,55 \text{ mm}^2}{0,25 \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}} \\ &= 160,49 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S = 160,49 \text{ mm} < S_{\max} = 300 \text{ mm} \rightarrow S_{\text{pakai}} = 150 \text{ mm}$$

- Tulangan yang dipakai $\emptyset 10 - 150 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{150 \text{ mm}} \\ &= 523,81 \text{ mm}^2 > A_{s_{\text{perlu}}} = 489,55 \text{ mm}^2 \\ &\quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

- Tulangan Susut (*SNI 03-2847-2002 pasal 9.12.2.1*)

Pelat yang menggunakan batang tulangan ulir mutu 300 dipakai $\rho_{susut}=0,002$.

$$\begin{aligned} A_{s_{susut}} &= \rho_{susut} \cdot b \cdot \text{tebal pelat} \\ &= 0,002 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 150 \text{ mm} \\ &= 300 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$S_{max} \leq 5h \text{ atau } S_{max} \leq 450 \text{ mm}$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.(1))

$$S_{max} = 5 \cdot 150 \text{ mm} = 750 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan Ø 8

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{s_{susut}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (8 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{300 \text{ mm}^2} \\ &= 167,62 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S = 167,62 \text{ mm} < S_{max} = 450 \text{ mm} \rightarrow S_{pakai} = 150 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai Ø 8 - 150 mm

$$\begin{aligned} A_{s_{pakai}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{S_{pakai}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (8 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{150 \text{ mm}} \\ &= 335,24 \text{ mm}^2 > A_{s_{susut}} = 300 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

- Penulangan Arah Y

$$M_{22} = 17\,214\,500 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{ty}}{\phi} = \frac{17214500 \text{ Nmm}}{0,8} = 13\,868\,750 \text{ Nmm}$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 16.8.3)

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{13186875 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \cdot (115 \text{ mm})^2} = 1,38$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right] \\
 &= \frac{1}{11,29} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,29 \cdot 1,38}{240}} \right] \\
 &= 0,059
 \end{aligned}$$

Cek persyaratan :

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &< \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \\
 0,0058 &< 0,059 < 0,0403 \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{S_{\text{perlu}}} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0059 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 115 \text{ mm} \\
 &= 742,15 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

▪ Kontrol jarak spasi tulangan

$$\begin{aligned}
 S_{\max} &\leq 2 \cdot h \\
 &\leq 2 \cdot 150 \text{ mm} \\
 &\leq 300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

▪ Dipakai tulangan $\emptyset 10$, sehingga jarak antar tulangan

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{S_{\text{perlu}}}} \\
 &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{742,15 \text{ mm}^2} \\
 &= 105,87 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S = 105,87 \text{ mm} < S_{\max} = 300 \text{ mm} \rightarrow S_{\text{pakai}} = 100 \text{ mm}$$

▪ Tulangan yang dipakai $\emptyset 10$ - 100 mm

$$\begin{aligned}
 A_{S_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\
 &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{100 \text{ mm}^2} \\
 &= 785,4 \text{ mm}^2 > A_{S_{\text{perlu}}} = 742,15 \text{ mm}^2 \\
 &\quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

▪ Tulangan Susut (*SNI 03-2847-2002 pasal 9.12.2.1*)

Pelat yang menggunakan batang tulangan ulir mutu 300 dipakai $\rho_{susut}=0,002$.

$$\begin{aligned} A_{s_{susut}} &= \rho_{susut} \cdot b \cdot \text{tebal pelat} \\ &= 0,002 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 150 \text{ mm} \\ &= 300 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$S_{max} \leq 5h \text{ atau } S_{max} \leq 450 \text{ mm}$$

(*SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.(1)*)

$$S_{max} = 5 \cdot 150 \text{ mm} = 750 \text{ mm}$$

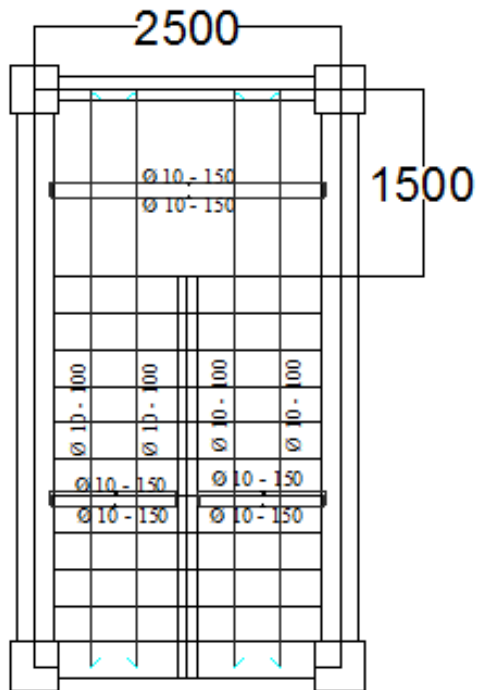
Dipakai tulangan Ø 8

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{s_{susut}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (8 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{300 \text{ mm}^2} \\ &= 167,62 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S = 167,62 \text{ mm} < S_{max} = 450 \text{ mm} \rightarrow S_{pakai} = 150 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai Ø 8 - 150 mm

$$\begin{aligned} A_{s_{pakai}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{S_{pakai}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (8 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{150 \text{ mm}} \\ &= 335,24 \text{ mm}^2 > A_{s_{susut}} = 300 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$



Gambar 4. 10. Gambar Penulangan Tangga

“halaman ini sengaja dikosongkan”

4.4. PERENCANAAN STRUKTUR PRIMER

4.4.1. PERHITUNGAN BEBAN GEMPA

Perhitungan gempa pada bangunan SMA Muhammadiyah 3 Gadung Surabaya ini dihitung dengan menggunakan metode statik ekuivalen dengan mempertimbangkan kondisi bangunan yang beraturan. Sehingga gaya gempa dibagi berdasarkan titik-titik utama sepanjang bangunan .

Tabel 4. 2. Perhitungan beban gempa rencana

Perhitungan Gempa					
Berat Bangunan W5					
Akibat beban mati :					
-	Kolom (40/40)	=	$0.4\text{m} \times 0.4\text{m} \times 1.695\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 20 \text{ buah}$	=	13017.6 kg
-	Balok induk B1 (30/40)	=	$0.3\text{m} \times 0.4\text{m} \times 5.75\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ buah}$	=	16560 kg
		=	$0.3\text{m} \times 0.4\text{m} \times 4\text{m} \times 2400\text{kg/m}^3 \times 5 \text{ buah}$	=	5760 kg
		=	$0.3\text{m} \times 0.4\text{m} \times 2.5\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 3 \text{ buah}$	=	2160 kg
		=	$0.3\text{m} \times 0.4\text{m} \times 1.3\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 2 \text{ buah}$	=	748.8 kg
-	Balok induk B2 (20/30)	=	$0.2\text{m} \times 0.3\text{m} \times 4\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 12\text{buah}$	=	6912 kg
		=	$0.2\text{m} \times 0.3\text{m} \times 2.5\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 4\text{buah}$	=	1440 kg
-	Pelat	=	$224.75 \text{ m}^2 \times 0.12\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3$	=	64728 kg
-	Dinding	=	$14.5\text{m} \times 1.695\text{m} \times 250$	=	18433.13 kg

			$\text{kg/m}^2 \times 3 \text{ buah}$			
			$15.5\text{m} \times 1.695\text{m} \times 250$ $\text{kg/m}^3 \times 1 \text{ buah}$	=	6568.125	kg
			$13\text{m} \times 1.695\text{m} \times 250 \text{ kg/m}^2 \times$ 3 buah	=	16526.25	kg
-	Aspal	=	$224.75\text{m}^2 \times 14 \text{ kg/m}^2$	=	3146.5	kg
-	Langit- langit	=	$224.75 \text{ m}^2 \times 11 \text{ kg/m}^2$	=	2472.25	kg
-	Penggant ung langit- langit	=	$224.75 \text{ m}^2 \times 7 \text{ kg/m}^2$	=	1573.25	kg
			D	=	160045.9	kg
Akibat beban hidup :						
-	Koefisien reduksi	=	0.5			
-	Beban hidup	=	$14.5\text{m} \times 15.5\text{m} \times 100 \text{ kg/m}^2$ $\times 0.5$	=	11237.5	
			L	=	11237.5	kg
			W5	=	171283.4	kg
Berat Bangunan W4						
Akibat beban mati :						
-	Kolom (40/40)	=	$0.4\text{m} \times 0.4\text{m} \times 3.2\text{m} \times 2400$ $\text{kg/m}^3 \times 20 \text{ buah}$	=	24576	kg
-	Balok induk B1 (30/40)	=	$0.3\text{m} \times 0.4\text{m} \times 5.75\text{m} \times$ $2400 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ buah}$	=	16560	kg
		=	$0.3\text{m} \times 0.4\text{m} \times 4\text{m} \times 2400$ $\text{kg/m}^3 \times 5 \text{ buah}$	=	5760	kg
		=	$0.3\text{m} \times 0.4\text{m} \times 2.5\text{m} \times 2400$ $\text{kg/m}^3 \times 3 \text{ buah}$	=	2160	kg

		=	$0.3\text{m} \times 0.4\text{m} \times 1.3\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 2 \text{ buah}$	=	748.8	kg
-	Balok induk B2 (20/30)	=	$0.2\text{m} \times 0.3\text{m} \times 4\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 12 \text{ buah}$	=	6912	kg
		=	$0.2\text{m} \times 0.3\text{m} \times 2.5\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 4 \text{ buah}$	=	1440	kg
-	Balok anak B3 (20/25)	=	$0.2\text{m} \times 0.25\text{m} \times 4\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 3 \text{ buah}$	=	1440	kg
-	Dinding	=	$14.5\text{m} \times 3.2\text{m} \times 250 \text{ kg/m}^2 \times 3 \text{ buah}$	=	34800	kg
			$15.5\text{m} \times 3.2\text{m} \times 250 \text{ kg/m}^2 \times 1 \text{ buah}$	=	12400	kg
			$13\text{m} \times 3.2\text{m} \times 250 \text{ kg/m}^2 \times 3 \text{ buah}$	=	31200	kg
-	Pelat	=	$210.375 \text{ m}^2 \times 0.12\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3$	=	60588	kg
-	Bordes	=	$2.5\text{m} \times 1.5\text{m} \times 0.15\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 2\text{buah}$	=	2700	kg
-	Tangga	=	$1.25\text{m} \times 3.35\text{m} \times 0.21\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3$	=	2110.5	kg
-	Keramik	=	$210.375 \text{ m}^2 \times 24 \text{ kg/m}^2$		5049	kg
-	Spesi	=	$210.375 \text{ m}^2 \times 21 \text{ kg/m}^2$	=	4417.875	kg
-	Langit-langit	=	$210.375 \text{ m}^2 \times 11 \text{ kg/m}^2$	=	2314.125	kg
-	Penggantung langit-langit	=	$210.375 \text{ m}^2 \times 7 \text{ kg/m}^2$	=	1472.625	kg
			D	=	216648.9	kg
Akibat beban hidup :						
-	Koefisien	=	0.5			

	reduksi				
-	Beban orang	=	$14.5\text{m} \times 15.5\text{m} \times 250\text{kg/m}^2 \times 0.5$	=	28093.75 kg
-	Beban orang (tangga)	=	$14.5\text{m} \times 15.5\text{m} \times 300\text{kg/m}^2 \times 0.5$	=	33712.5 kg
-	Beban orang (bordes)	=	$2.5\text{m} \times 1.5\text{m} \times 300\text{kg/m}^2 \times 0.5$	=	562.5 kg
			L	=62368.75	kg
			W4	= 279017.7	kg
Berat Bangunan W3					
Akibat beban mati :					
-	Kolom (40/40)	=	$0.4\text{m} \times 0.4\text{m} \times 3.355\text{m} \times 2400\text{ kg/m}^3 \times 20\text{ buah}$	=	25766.4 kg
-	Balok induk B1 (30/40)	=	$0.3\text{m} \times 0.4\text{m} \times 5.75\text{m} \times 2400\text{ kg/m}^3 \times 10\text{ buah}$	=	16560 kg
		=	$0.3\text{m} \times 0.4\text{m} \times 4\text{m} \times 2400\text{ kg/m}^3 \times 5\text{ buah}$	=	5760 kg
		=	$0.3\text{m} \times 0.4\text{m} \times 2.5\text{m} \times 2400\text{ kg/m}^3 \times 3\text{ buah}$	=	2160 kg
		=	$0.3\text{m} \times 0.4\text{m} \times 1.3\text{m} \times 2400\text{ kg/m}^3 \times 2\text{ buah}$	=	748.8 kg
-	Balok induk B2 (20/30)	=	$0.2\text{m} \times 0.3\text{m} \times 4\text{m} \times 2400\text{ kg/m}^3 \times 12\text{ buah}$	=	6912 kg
		=	$0.2\text{m} \times 0.3\text{m} \times 2.5\text{m} \times 2400\text{ kg/m}^3 \times 4\text{ buah}$	=	1440 kg
-	Balok anak B3 (20/25)	=	$0.2\text{m} \times 0.25\text{m} \times 4\text{m} \times 2400\text{ kg/m}^3 \times 3\text{ buah}$	=	1440 kg

-	Dinding	=	$14.5\text{m} \times 3.355\text{m} \times 250 \text{ kg/m}^2 \times 3 \text{ buah}$	=	36485.63	kg
			$15.5\text{m} \times 3.355\text{m} \times 250 \text{ kg/m}^2 \times 1 \text{ buah}$	=	13000.63	kg
			$13\text{m} \times 3.355\text{m} \times 250 \text{ kg/m}^2 \times 3 \text{ buah}$	=	32711.25	kg
-	Pelat	=	$210.375 \times 0.15 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3$	=	75735	kg
-	Bordes	=	$2.5 \text{ m} \times 2.5\text{m} \times 0.15\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 2 \text{ buah}$	=	4500	kg
-	Tangga	=	$1.25\text{m} \times 3.35\text{m} \times 0.21\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3$	=	2110.5	kg
-	Keramik	=	$210.375 \text{ m}^2 \times 24 \text{ kg/m}^2$		5049	kg
-	Spesi	=	$210.375 \text{ m}^2 \times 21 \text{ kg/m}^2$	=	4417.875	kg
-	Langit-langit	=	$210.375 \text{ m}^2 \times 11 \text{ kg/m}^2$	=	2314.125	kg
-	Penggantung langit-langit	=	$210.375 \text{ m}^2 \times 7 \text{ kg/m}^2$	=	1472.625	kg
			D	=	238583.8	kg
Akibat beban hidup :						
-	Koefisien reduksi	=	0.5			
-	Beban orang	=	$14.5\text{m} \times 15.5\text{m} \times 250 \text{ kg/m}^2 \times 0.5$	=	28093.75	kg
-	Beban orang (tangga)	=	$14.5\text{m} \times 15.5\text{m} \times 300 \text{ kg/m}^2 \times 0.5$	=	33712.5	kg
-	Beban orang (bordes)	=	$2.5\text{m} \times 1.5\text{m} \times 300 \text{ kg/m}^2 \times 0.5$	=	562.5	kg
			L	=	62368.75	kg

			W3	=	300952.6	kg
Berat Bangunan W2						
Akibat beban mati :						
-	Kolom (40/40)	=	$0.4 \text{ m} \times 0.4 \text{ m} \times 3.69 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 20 \text{ buah}$	=	28339.2	kg
-	Balok induk B1 (30/40)	=	$0.3 \text{ m} \times 0.4 \text{ m} \times 5.75 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ buah}$	=	16560	kg
		=	$0.3 \text{ m} \times 0.4 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 5 \text{ buah}$	=	5760	kg
		=	$0.3 \text{ m} \times 0.4 \text{ m} \times 2.5 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 3 \text{ buah}$	=	2160	kg
		=	$0.3 \text{ m} \times 0.4 \text{ m} \times 1.3 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 2 \text{ buah}$	=	748.8	kg
-	Balok induk B2 (20/30)	=	$0.2 \text{ m} \times 0.3 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 12 \text{ buah}$	=	6912	kg
		=	$0.2 \text{ m} \times 0.3 \text{ m} \times 2.5 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 4 \text{ buah}$	=	1440	kg
-	Balok anak B3 (20/25)	=	$0.2 \text{ m} \times 0.25 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 5 \text{ buah}$	=	2400	kg
-	Pelat	=	$210.375 \text{ m}^2 \times 0.12 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3$	=	60588	kg
-	Dinding	=	$14.5 \text{ m} \times 3.69 \text{ m} \times 250 \text{ kg/m}^2 \times 3 \text{ buah}$	=	40128.75	kg
			$15.5 \text{ m} \times 3.69 \text{ m} \times 250 \text{ kg/m}^2 \times 1 \text{ buah}$	=	14298.75	kg
			$13 \text{ m} \times 3.69 \text{ m} \times 250 \text{ kg/m}^2 \times 3 \text{ buah}$	=	35977.5	kg
-	Bordes	=	$2.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m} \times 0.15 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 2 \text{ buah}$	=	2700	kg
-	Tangga	=	$1.25 \text{ m} \times 3.35 \text{ m} \times 0.21 \text{ m} \times$	=	2110.5	kg

			2400 kg/m ³			
-	Keramik	=	210.375 m ² x 24 kg/m ²		5049	kg
-	Spesi	=	210.375 m ² x 21 kg/m ²	=	4417.875	kg
-	Langit-langit	=	210.375 m ² x 11 kg/m ²	=	2314.125	kg
-	Penggantung langit-langit	=	210.375 m ² x 7 kg/m ²	=	1472.625	kg
			D	=	233377.1	kg
Akibat beban hidup :						
-	Koefisien reduksi	=	0.5			
-	Beban orang	=	14.5m x 15.5 m x 250 kg/m ² x 0.5	=	28093.75	kg
-	Beban orang (tangga)	=	14.5m x 15.5 m x 300 kg/m ² x 0.5	=	33712.5	kg
-	Beban orang (bordes)	=	2.5m x 1.5 m x 300 kg/m ² x 0.5	=	562.5	kg
			L	=	62368.75	kg
			W2	=	295745.9	kg
Berat Bangunan W1						
Akibat beban mati :						
-	Sloof	=	0.30 m x 0.45 m x 122.5 m x 2400 kg/m ³	=	51450	kg
-	Dinding	=	14.5 m x 1.84 m x 250 kg/m ² x 3 buah	=	20010	kg
			15.5 m x 1x 1.84 m x 250 kg/m ² x 2 buah	=	14260	kg
			13 m x 1.84 m x 250 kg/m ² x 2 buah	=	11960	kg

-	Kolom (40/40)	=	0.4 m x 0.4 m x 3.04 m x 2400 kg/m ³ x 20 buah	=	23347.2	kg
			W1	=	121027.2	kg

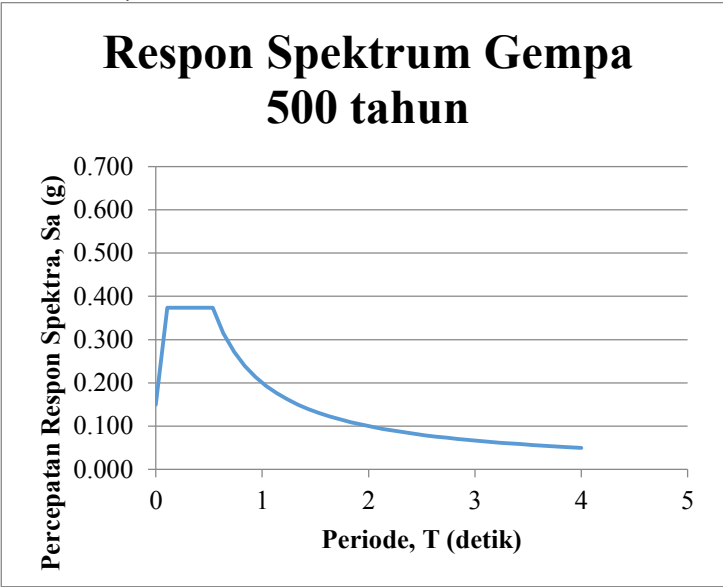
• Waktu Getar Struktur (T)

$$T = C_t \times h^{3/4}$$
$$= 0,0466 \times (13,78 \text{ m})^{3/4}$$
$$= 0,494 \text{ det}$$

• Faktor Respon Gempa (C)

Faktor respon gempa (C) didapatkan dari nilai Sds (Percepatan respon spectral) yang terdapat pada grafik periode ulang gempa 500 tahun seperti tergambar :

$$C = 0,373$$



Gambar 4. 11. Grafik Respon Spektrum Periode Ulang Gempa 500 Tahun

- Faktor Keutamaan (I)

Berdasarkan fungsinya yaitu sebagai gedung penghunian, maka berdasarkan **SNI 03-1726-2002 tabel 1**, didapatkan (I) = 1,0.

- Faktor Reduksi Gempa (R)

Gedung ini direncanakan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), sehingga berdasarkan **SNI 03-1726-2002 tabel 3** didapatkan nilai faktor reduksi gempa $R = 5,5$.

$$W. \text{ total} = 1177242.725 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} T &= 0,0731 (H)^{3/4} \\ &= 0,0731 (15,92)^{3/4} \\ &= 0,58 \end{aligned}$$

$$C = 0,373$$

$$\begin{aligned} V &= \frac{C \cdot I}{R} \times W_{\text{total}} \\ &= \frac{0,373 \cdot 1}{5,5} \times 1177242.725 \text{ kg} \\ &= 119757.6918 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$F_i = \frac{W_i \cdot Z_i}{W_i \cdot Z_i} \cdot V$$

Tabel 4. 3. Berat Bangunan x Tinggi Antar Tingkat

Wi (KN)	hi (m)	Wi*hi(KNm)	F _i (KN)	V _i (KN)
1712.834	13.78	23602.85	319.0637	319.0636831
2790.17675	10.39	28989.94	391.8864	710.9500401
3009.52575	7.38	22210.3	300.2391	1011.18918
2957.45875	3.68	10883.45	147.1226	1158.311781
1210.272	2.4	2904.653	39.26514	1197.576918
Σ W.h	=	88591.19		

F1	=	W1.h1	*	V
		$\Sigma W.h$		
	=	39.26513626	KN	
	=	3.926513626	TON	
F2	=	W1.h1	*	V
		$\Sigma W.h$		
	=	147.1226016	KN	
	=	14.71226016	TON	
F3	=	W2.h2	*	V
		$\Sigma W.h$		
	=	300.2391395	KN	
	=	30.02391395	TON	
F4	=	W3.h3	*	V
		$\Sigma W.h$		
	=	391.8863571	KN	
	=	39.18863571	TON	
F5	=	W4.h4	*	V
		$\Sigma W.h$		
	=	319.0636831	KN	
	=	31.90636831	TON	

Kontrol :

$$\Sigma F = V$$

$$(39.265 + 147.123 + 300.239 + 391.886 + 319.064) \text{ kN} = 1197,577 \text{ kN}$$

$$1197,577 \text{ kN} = 1197,577 \text{ kN (Memenuhi)}$$

Tabel 4. 4. Distribusi Gempa

<u>Lantai</u> 1							
Gempa Arah Y	=	$(2/14.5)^* F1$	=	5.416	KN	0.542	Ton
	=	$(4/14.5)^* F1$	=	10.832	KN	1.083	Ton
	=	$(4/14.5)^* F1$	=	10.832	KN	1.083	Ton
	=	$(3.25/14.5)^* F1$	=	8.801	KN	0.880	Ton
	=	$(1.25/14.5)^* F1$	=	3.385	KN	0.338	Ton
Gempa Arah X	=	$2.875/15.5^* F1$	=	7.283	KN	0.728	Ton
	=	$4.875/15.5^* F1$	=	12.350	KN	1.235	Ton
	=	$4.875/15.5^* F1$	=	12.350	KN	1.235	Ton
	=	$2.875/15.5^* F1$	=	7.283	KN	0.728	Ton
<u>Lantai</u> 2							
Gempa Arah Y	=	$(2/14.5)^* F1$	=	20.293	KN	2.029	Ton
	=	$(4/14.5)^* F1$	=	40.586	KN	4.059	Ton
	=	$(4/14.5)^* F1$	=	40.586	KN	4.059	Ton
	=	$(3.25/14.5)^* F1$	=	32.976	KN	3.298	Ton

	=	$(1.25/14.5) * F1$	=	12.683	KN	1.268	Ton
Gempa Arah X	=	$2.875/15.5 * F1$	=	27.289	KN	2.729	Ton
	=	$4.875/15.5 * F1$	=	46.272	KN	4.627	Ton
	=	$4.875/15.5 * F1$	=	46.272	KN	4.627	Ton
	=	$2.875/15.5 * F1$	=	27.289	KN	2.729	Ton
<u>Lantai 3</u>							
Gempa Arah Y	=	$(2/14.5) * F2$	=	41.412	KN	4.141	Ton
	=	$(4/14.5) * F2$	=	82.825	KN	8.282	Ton
	=	$(4/14.5) * F2$	=	82.825	KN	8.282	Ton
	=	$(3.25/14.5) * F2$	=	67.295	KN	6.729	Ton
	=	$(1.25/14.5) * F2$	=	25.883	KN	2.588	Ton
Gempa Arah X	=	$2.875/15.5 * F2$	=	55.690	KN	5.569	Ton
	=	$4.875/15.5 * F2$	=	94.430	KN	9.443	Ton
	=	$4.875/15.5 * F2$	=	94.430	KN	9.443	Ton
	=	$2.875/15.5 * F2$	=	55.690	KN	5.569	Ton

<u>Lantai</u> <u>4</u>							
Gempa Arah Y	=	$(2/14.5)^*F3$	=	54.053	KN	5.405	Ton
	=	$(4/14.5)^*F3$	=	108.107	KN	10.811	Ton
	=	$(4/14.5)^*F3$	=	108.107	KN	10.811	Ton
	=	$(3.25/14.5)^*F3$	=	87.837	KN	8.784	Ton
	=	$(1.25/14.5)^*F3$	=	33.783	KN	3.378	Ton
Gempa Arah X	=	$2.875/15.5^*F3$	=	72.689	KN	7.269	Ton
	=	$4.875/15.5^*F3$	=	123.255	KN	12.325	Ton
	=	$4.875/15.5^*F3$	=	123.255	KN	12.325	Ton
	=	$2.875/15.5^*F3$	=	72.689	KN	7.269	Ton
<u>Lantai</u> <u>5</u>							
Gempa Arah Y	=	$(2/14.5)^*F4$	=	44.009	KN	4.401	Ton
	=	$(4/14.5)^*F4$	=	88.018	KN	8.802	Ton
	=	$(4/14.5)^*F4$	=	88.018	KN	8.802	Ton
	=	$(3.25/14.5)^*F4$	=	71.514	KN	7.151	Ton
	=	$(1.25/14.5)^*F4$	=	27.505	KN	2.751	Ton

Gempa Arah X	=	$2.875/15.5 \cdot F4$	=	59.181	KN	5.918 Ton
	=	$4.875/15.5 \cdot F4$	=	100.351	KN	10.035 Ton
	=	$4.875/15.5 \cdot F4$	=	100.351	KN	10.035 Ton
	=	$2.875/15.5 \cdot F4$	=	59.181	KN	5.918 Ton

4.5. PERHITUNGAN BALOK

4.5.1. PERHITUNGAN BALOK INDUK (ARAH Y)

Perhitungan tulangan balok B1 (30/40) . Berikut data-data perencanaan balok, gambar denah pembalokan, hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000, ketentuan perhitungan penulangan balok dengan metode SRPMM, perhitungan serta hasil akhir gambar penampang balok adalah sebagai berikut :

- Data-data perencanaan tulangan balok :

Tipe balok	: B1 (30/40)
As balok	: C,3-4
Bentang balok (L balok)	: 4000 mm
Lebar balok (b balok)	: 300 mm
Tinggi balok (h balok)	: 400 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 25 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	: 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	: 240 MPa
Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt})	: 400 MPa
Diameter tulangan lentur (D lentur)	: 19 mm
Diameter tulangan geser (\emptyset geser)	: 8 mm
Diameter tulangan puntir (\emptyset puntir)	: 10 mm
Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar)	: 25 mm

(SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.2)

Tebal selimut beton (t decking)	: 40 mm
---------------------------------	---------

(SNI 03-2847-2002 pasal 7.7.1.c)

Faktor β_1	: 0,85
------------------	--------

(SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.3)

Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ)	: 0,8
---	-------

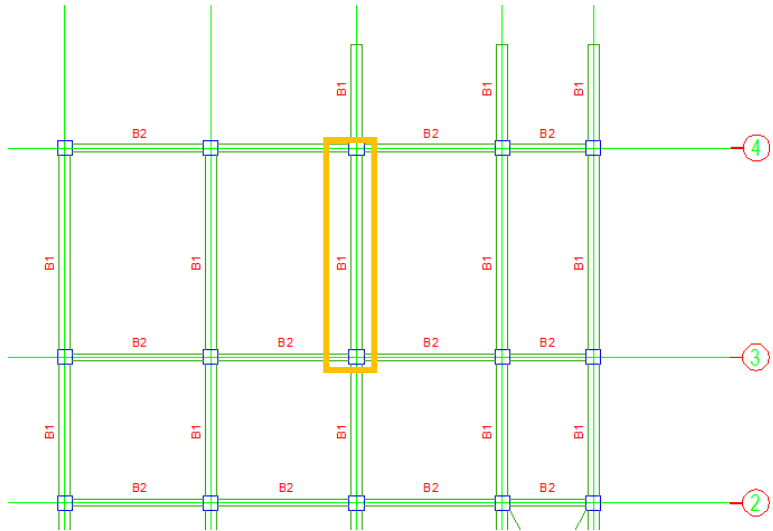
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.7.a)

Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	: 0,75
--	--------

(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3)

Faktor reduksi kekuatan puntir (ϕ)	: 0,75
---	--------

(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3)

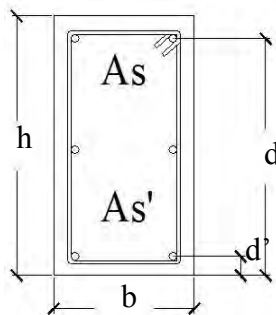


Gambar 4. 12. Denah Balok yang Ditinjau

Maka, tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned} d &= h - \text{decking} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ tul lentur} \\ &= 400 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 8 \text{ mm} - (\frac{1}{2} \cdot 19 \text{ mm}) \\ &= 342,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \emptyset \text{ sengkang} + \frac{1}{2} \emptyset \text{ tul lentur} \\ &= 40 \text{ mm} + 8 \text{ mm} + (\frac{1}{2} \cdot 19 \text{ mm}) \\ &= 57,5 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar 4. 13. Penulangan Balok

Hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 :

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu SAP 2000, maka didapatkan hasil output dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulangan balok.

Adapun dalam pengambilan hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan yang digunakan terdiri dari kombinasi beban gravitasi dan kombinasi beban gempa.

Kombinasi Beban Gravitasi :

- Pembebanan akibat beban mati dan beban hidup.

$$U = 1,4 D$$

$$U = 1,2 D + 1,6 L$$

$$U = 1,2D + 1 L$$

Kombinasi Beban Gempa :

- Pembebanan akibat beban gravitasi dan beban gempa positif searah sumbu X.

$$U = 1,2 D + 1 L + 1 EQX + 0,3 EQY$$

$$U = 0,9 D + 1 EQX$$

$$U = 0,9 D + 1 EQY$$

Untuk perhitungan tulangan torsi, lentur, dan geser pada balok maka diambil momen yang terbesar dari kombinasi $U = 1,2 D + 1 L + 1 EQX + 0,3 EQY$.

Hasil Output Diagram Torsi

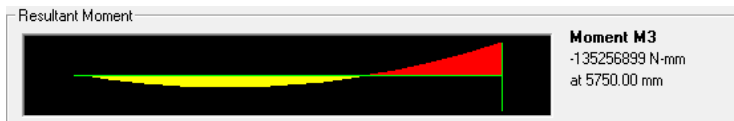
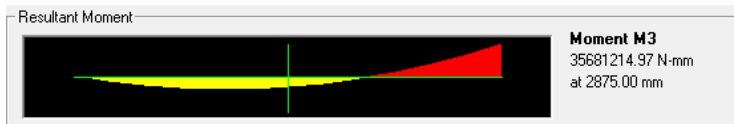
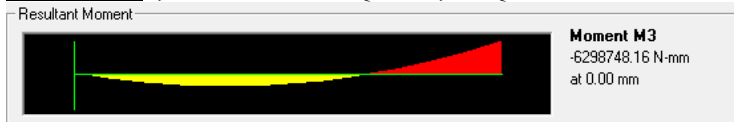
Kombinasi $1,2 D + 1 L + 1 EQX + 0,3 EQY$



Momen torsi : 813.336.83 N.mm

Hasil Output Diagram Momen Lentur

Kombinasi 1,2 D + 1 L + 1 EQX + 0,3 EQY



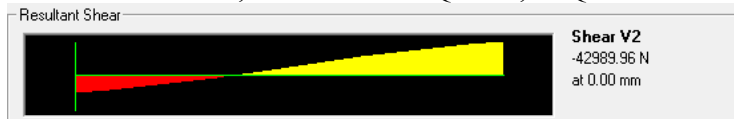
Akibat kombinasi 1,2 D + 1 L + 1 EQX + 0,3 EQY

Momen tumpuan kiri : 6.298.748,16 N.mm

Momen lapangan : 35.681.214,97 N.mm

Momen tumpuan kanan : 135.256.899 N.mm

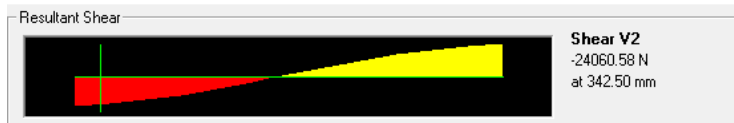
Akibat kombinasi 1,2 D + 1 L + 1 EQX + 0,3 EQY



Gaya terfaktor $V_u = 42.989,96$ N

Hasil Output Diagram Gaya Geser

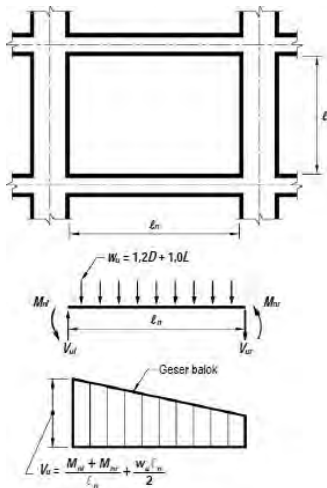
Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1,2D + 1L, dari analisa SAP2000 didapatkan :



Gaya geser terfaktor $V_u = 24.060,58 \text{ N}$
(Dimana V_u diambil sejarak $d = 342,5 \text{ mm}$)

(SNI 03-2847-2013 pasal 11.1.3.1)

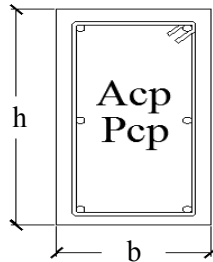
Berdasarkan SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4 mengenai Ketentuan perhitungan penulangan balok dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).



Gambar 4. 14. Gaya Geser Rencana Komponen Balok pada SRPMM

Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser lentur dan puntir

Ukuran penampang balok yang dipakai = 30/40



Gambar 4. 15. Luasan Acp dan Pcp

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{\text{balok}} \cdot h_{\text{balok}} \\ &= 300 \text{ mm} \cdot 400 \text{ mm} \\ &= 120.000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Parimeter luar irisan penampang beton Acp

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \cdot (b_{\text{balok}} + h_{\text{balok}}) \\ &= 2 \cdot (300 \text{ mm} + 400 \text{ mm}) \\ &= 1.400 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) \cdot (h_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) \\ &= (300 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - 8 \text{ mm}) \\ &\quad \cdot (400 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - 8 \text{ mm}) \\ &= 212 \text{ mm} \times 312 \text{ mm} \\ &= 66144 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$P_h = 2 \cdot [(b_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) + (h_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}})]$$

$$\begin{aligned}
&= 2 \cdot [(300 \text{ mm} - (2.40 \text{ mm}) - 8 \text{ mm}) \\
&\quad + (400 \text{ mm} - (2.40 \text{ mm}) - 8 \text{ mm})] \\
&= 2 \cdot [212 \text{ mm} + 312 \text{ mm}] \\
&= 2 \cdot 524 \text{ mm} \\
&= 1.048 \text{ mm}
\end{aligned}$$

4.5.1.1. PERHITUNGAN PENULANGAN PUNTIR

Berdasarkan hasil out put diagram torsi pada SAP diperoleh momen puntir terbesar :

Momen Puntir Ultimate

Akibat Kombinasi 1,2 D + 1 L + 1 EQX + 0,3 EQY

$$T_u = 813.336,83 \text{ N.mm}$$

Momen Puntir Nominal

$$\begin{aligned}
T_n &= \frac{T_u}{\phi} \\
&= \frac{813336,83 \text{ N.mm}}{0,75} \\
&= 1.084.449,11 \text{ N.mm}
\end{aligned}$$

Gaya terfaktor Vu Ultimate

Akibat kombinasi 1,2 D + 1 L + 1 EQX + 0,3 EQY

$$V_u = 42.989,96 \text{ N}$$

Pengaruh puntir dapat di abaikan bila momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang daripada :

$$\text{nilai } \lambda = 0,75$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 8.6.1)

$$\begin{aligned}
T_{u_{\min}} &= \phi 0,083 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c'} \cdot \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
&\quad \text{(SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.1.a)} \\
&= 0,75 \cdot 0,083 \cdot 0,75 \cdot \sqrt{25 \text{ N/mm}^2} \cdot \left(\frac{(120000 \text{ mm}^2)^2}{1400 \text{ mm}} \right) \\
&= 2.401.071,43 \text{ Nmm}
\end{aligned}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

$T_u < T_{u_{\min}}$ maka tulangan puntir di abaikan.

$T_u > T_{u_{\min}}$ maka memerlukan tulangan puntir.

$$T_u = 813.336.83 \text{ N.mm} < T_{u_{\min}} = 2.401.071,43 \text{ Nmm}$$

Maka tulangan puntir di abaikan

Kuat geser yang disumbangkan oleh beton untuk komponen struktur non-prategang berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 11.2.1.1 adalah :

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \\ &= 0,17 \times 0,75 \times \sqrt{25 \text{ N/mm}^2} \times 300 \text{ mm} \times 342,5 \text{ mm} \\ &= 65.503,125 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek Kecukupan Penampang Menahan Momen Puntir

Sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.5.3 kekuatan momen torsi harus memenuhi ketentuan sebagai berikut

$$\begin{aligned} \sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1,7 A^2 o h}\right)^2} &\leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d}\right) + 0,66 \sqrt{f_c'} \\ \sqrt{\left(\frac{42989,96}{300 \text{ mm} \cdot 342,5 \text{ mm}}\right)^2 + \left(\frac{813336,83 \text{ N.mm} \cdot 1.048 \text{ mm}}{1,7 \cdot 66144 \text{ mm}^2}\right)^2} &\leq \\ \phi \left(\frac{65.503,125 \text{ N}}{300 \text{ mm} \cdot 342,5 \text{ mm}}\right) + 0,66 \sqrt{25 \text{ N/mm}^2} & \end{aligned}$$

$$0,43 \leq 2,95 \text{ (memenuhi)}$$

Untuk beton non-prategang

$$\theta = 45^\circ$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3.5.a)

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \cdot A_o \cdot f_y \cdot \cot \theta}$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{1.084.449,11 \text{ N.mm}}{2 \cdot (66144 \text{ mm}^2 \cdot 0.85) \cdot 240 \text{ MPa} \cdot 45}$$

$$\frac{A_t}{s} = 0.07$$

Luas tulangan longitudinal tambahan untuk menahan torsi A_t , harus sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.7.

$$\begin{aligned} A_t &= \frac{A_t}{s} p_h \cdot \frac{f_{yt}}{f_y} \cdot \cot^2 \theta \\ &= 0.07 \cdot 1.048 \text{ mm} \cdot \frac{240}{400} \cdot 45^\circ \\ &= 15,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.3 tulangan torsi longitudinal minimum harus dihitung dengan ketentuan.

$$\begin{aligned} A_{t \min} &= \frac{0,42 \cdot \sqrt{f'c} A_{cp}}{f_y} - \frac{A_t}{s} p_h \cdot \frac{f_{yt}}{f_y} \\ &= \frac{0,42 \cdot \sqrt{25 \text{ N/mm}^2} \cdot 120.000 \text{ mm}^2}{400} - 0,07 \cdot 1.048 \text{ mm} \cdot \frac{240}{400} \\ &= 589,07 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$A_t \leq A_{t \min} \quad \text{maka gunakan } A_{t \min}$$

$$A_t \geq A_{t \min} \quad \text{maka gunakan } A_t$$

$$\begin{aligned} A_t &< A_{t \min} \\ 15,6 \text{ mm}^2 &< 589,07 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan yang terbesar, $A_{t \min} 589,07 \text{ mm}^2$

4.5.1.2. PENULANGAN LENTUR BALOK

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} X_b &= \frac{600}{600+f_y} \cdot d \\ &= \frac{600}{600+400} \cdot 342,5 \text{ mm} \\ &= 205,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

(SNI 03-2847-2002, Pasal 12.2.2)

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \cdot X_{\text{balance}} \\ &= 0,75 \cdot 205,5 \text{ mm} \\ &= 154,125 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 57,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 150 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2 \cdot 300 \text{ mm} \cdot 0,85 \cdot 150 \text{ mm} \\ &= 812812,5 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan lentur gaya tarik tulangan lentur tunggal

$$A_{sc} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{\text{rencana}}}{f_y}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2 \cdot 300 \text{ mm} \cdot 0,85 \cdot 150 \text{ mm}}{400 \text{ N/mm}^2} \\
 &= 2.032,03 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= A_{sc} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{\beta_1 \cdot X_{rencana}}{2} \right) \\
 &= 2.032,03 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2 \cdot \left(342,5 \text{ mm} - \frac{0,85 \cdot 150 \text{ mm}}{2} \right) \\
 &= 226.571.484 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

❖ Daerah Tumpuan Kiri

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :

$$1,2 D + 1 L + 1 EQX + 0,3 EQY$$

$$M_{u_{tumpuan}} = 6.298.748,16 \text{ N.mm}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$M_n = \frac{M_{u_{tumpuan}}}{\phi}$$

$$M_n = \frac{6298748,16 \text{ N.mm}}{0,80}$$

$$M_n = 7.873.435,2 \text{ N. mm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} \geq 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$\begin{aligned}
 &= 7.873.435,2 \text{ N.mm} - 226.571.484 \text{ N.mm} \\
 &= -218.698.049,18 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Maka,

$$M_{ns} = -218.698.049,18 \text{ N.mm} < 0$$

Maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

- Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} \\
 &= \frac{7873435,2 \text{ N.mm}}{300 \text{ mm} \cdot (342,5 \text{ mm})^2} \\
 &= 0,224 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{F_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400 \text{ MPa}} \right) \\
 &= 0,0325
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\
 &= 0,75 \cdot 0,0325 \\
 &= 0,024
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \\
 &= \frac{400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2} \\
 &= 18,82
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right] \\
 &= \frac{1}{18,82} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,82 \cdot 0,224 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}} \right] \\
 &= 0,0006
 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{rcl}
 \rho_{\min} & < & \rho_{\text{perlu}} & < & \rho_{\max} \\
 0,0035 & < & 0,0006 & < & 0,024
 \end{array} \quad (\text{tidak memenuhi})$$

$$\begin{aligned}
 A_{S_{\text{perlu}}} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0035 \cdot 300 \text{ mm} \cdot 342,5 \text{ mm} \\
 &= 359,63 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas tulangan lentur} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\
 &= 0,25 \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2 \\
 &= 283,38 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur + luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur

Jumlah tulangan pasang :

- Luasan tulangan perlu lentur tarik+ luasan tambahan puntir longitudinal sisi atas balok :

$$\begin{aligned}
 A_{S_{\text{perlu}}} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\
 &= 359,63 \text{ mm}^2 + \frac{589,07 \text{ mm}^2}{4} \\
 &= 506,89 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan pasang lentur tarik

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{Luas tulangan lentur}} = \frac{506,89 \text{ mm}^2}{283,38 \text{ mm}^2} \\
 &= 1,789 \text{ buah} \approx \mathbf{2 \text{ buah}}
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 2D19

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ pasang} &= n \cdot \text{luas tulangan letur} \\
 &= 2 \cdot 283,38 \text{ mm}^2 \\
 &= 566,77 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$A_{s \text{ pasang}} = 566,77 \text{ mm}^2 > A_{s \text{ perlu}} = 506,89 \text{ mm}^2$$

(memenuhi)

- Luasan tulangan perlu tekan + luasan tambahan puntir longitudinal sisi bawah balok :

$$\begin{aligned}
 A_s' \text{ perlu} &= A_s' + \frac{A_l}{4} \\
 &= 0 + \frac{589,07 \text{ mm}^2}{4} \\
 &= 147,27 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan pasang lentur tekan

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_{s' \text{ perlu}}}{\text{Luas tulangan lentur}} = \frac{147,27 \text{ mm}^2}{283,38 \text{ mm}^2} \\
 &= 0,52 \text{ buah} \approx \mathbf{2 \text{ buah}}
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 2D19

$$\begin{aligned}
 A_s' \text{ pasang} &= n \cdot \text{luas tulangan letur} \\
 &= 2 \cdot 283,38 \text{ mm}^2 \\
 &= 566,77 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$A_{s' \text{ pasang}} = 566,77 \text{ mm}^2 > A_{s' \text{ perlu}} = 147,27 \text{ mm}^2$$

(memenuhi)

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan tulangan tarik 1 lapis 2D19 dan tulangan tekan 1 lapis 2D19

- **Kontrol Tulangan Tarik**

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \cdot t_{decking}) - (2 \cdot \phi_{geser}) - (jml \text{ tul} \cdot D_{lentur})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{300 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - (2 \cdot 8 \text{ mm}) - (2 \cdot 19 \text{ mm})}{2 - 1}$$

$$S_{maks} = 166 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{maks} = 166 \text{ mm} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)}$$

- **Kontrol Tulangan Tekan**

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \cdot t_{decking}) - (2 \cdot \phi_{geser}) - (jml \text{ tul} \cdot D_{lentur})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{300 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - (2 \cdot 8 \text{ mm}) - (2 \cdot 19 \text{ mm})}{2 - 1}$$

$$S_{maks} = 166 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{maks} = 166 \text{ mm} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)}$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negative maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut.

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= 2 \text{ D19} \\ &= 2 \cdot 0,25 \cdot 3,14 \cdot (19 \text{ mm})^2 \\ &= 566,77 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'_{\text{pasang}}} &= 2 \text{ D19} \\ &= 2 \cdot 0,25 \cdot 3,14 \cdot (19 \text{ mm})^2 \\ &= 566,77 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} \cdot M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$566,77 \text{ mm}^2 \geq 188,92 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\begin{aligned} a &= \frac{(A_s \cdot f_y)}{(0,85 \cdot f_c' \cdot b)} \\ &= \frac{(566,77 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2)}{(0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2 \cdot 300 \text{ mm})} \\ &= 35,56 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \cdot d - \left(\frac{a}{2}\right) \\ &= 0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2 \cdot 35,56 \text{ mm} \cdot 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\cdot \left(342,5 \text{ mm} - \left(\frac{35,56 \text{ mm}}{2} \right) \right) \\ = 73.616.390,61 \text{ N.mm}$$

Maka,

$$\theta M_{n \text{ pasang}} > M_u$$

$$0,8 \cdot 73.616.390,61 \text{ N.mm} > 6.298.748,16 \text{ N.mm}$$

$$58.893.112,49 \text{ N.mm} > 6.298.748,16 \text{ N.mm}$$

(memenuhi)

Jadi, penulangan lentur untuk balok B1 (30/40) As C,2-3 pada daerah tumpuan kiri dipakai tulangan tarik 2D19 dan tulangan tekan 2D19 dengan susunan sebagai berikut :

- Tulangan tarik 1 lapis
Lapis 1 : 2D19
- Tulangan Tekan 1 Lapis
Lapis 1 : 2D19

❖ Daerah Tumpuan Kanan

Garis netral dalam kondisi balance

$$X_b = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d \\ = \frac{600}{600 + 400} \cdot 342,5 \text{ mm} \\ = 205,5 \text{ mm}$$

(SNI 03-2847-2002, Pasal 12.2.2)

Garis netral maksimum

$$X_{\max} = 0,75 \cdot X_{\text{balance}} \\ = 0,75 \cdot 205,5 \text{ mm} \\ = 154,125 \text{ mm}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 57,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 150 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2 \cdot 300 \text{ mm} \cdot 0,85 \cdot 150 \text{ mm} \\ &= 812.812,5 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan lentur gaya tarik tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{\text{rencana}}}{f_y} \\ &= \frac{0,85 \cdot 25 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 300 \text{ mm} \cdot 0,85 \cdot 150 \text{ mm}}{400 \text{ N/mm}^2} \\ &= 2032,03 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{\beta_1 \cdot X_{\text{rencana}}}{2} \right) \\ &= 2032,03 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2 \cdot \left(342,5 \text{ mm} - \frac{0,85 \cdot 150 \text{ mm}}{2} \right) \\ &= 226.571.484 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :

$$1,2 D + 1 L + 1 \text{ EQX} + 0,3 \text{ EQY}$$

$$M_{u_{\text{tumpuan}}} = 135.256.899 \text{ N.mm}$$

Momen lentur nominal (M_n)

$$M_n = \frac{M_{u_{\text{tumpuan}}}}{\phi}$$

$$M_n = \frac{135256899 \text{ N.mm}}{0,80}$$

$$M_n = 169071123,8 \text{ N.mm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$= 169.071.123,8 \text{ N.mm} - 226.571.484 \text{ N.mm}$$

$$= -57.500.360,63 \text{ N.mm}$$

Maka,

$$M_{ns} = -57.500.360,63 \text{ N.mm} < 0$$

Maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

- Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2}$$

$$= \frac{160.071.123,8 \text{ N.mm}}{300 \text{ mm} \cdot (342,5 \text{ mm})^2}$$

$$= 4,8 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{F_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400 \text{ MPa}} \right)$$

$$= 0,0325$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\ &= 0,75 \cdot 0,0325 \\ &= 0,024\end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned}m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_{cr}} \\ &= \frac{400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2} \\ &= 18,82\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{18,82} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,82 \cdot 4,8 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}} \right] \\ &= 0,014\end{aligned}$$

$$\begin{array}{ccccc}\rho_{\min} & < & \rho_{\text{perlu}} & < & \rho_{\max} \\ 0,0035 & < & 0,014 & < & 0,024\end{array} \quad (\text{tidak memenuhi})$$

$$\begin{aligned}A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d \\ &= 0,014 \cdot 300 \text{ mm} \cdot 342,5 \text{ mm} \\ &= 1418,37 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas tulangan lentur} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= 0,25 \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2 \\ &= 283,38 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur + luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur

Jumlah tulangan pasang :

- Luasan tulangan perlu lentur tarik+ luasan tambahan puntir longitudinal sisi atas balok :

$$\begin{aligned}
 A_{s_{\text{perlu}}} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\
 &= 1418,37 \text{ mm}^2 + \frac{589,07 \text{ mm}^2}{4} \\
 &= 1.565,64 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan pasang lentur tarik

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{Luas tulangan lentur}} = \frac{1565,64 \text{ mm}^2}{283,38 \text{ mm}^2} \\
 &= 5,5 \text{ buah} \approx 6 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 6D19

$$\begin{aligned}
 A_{s_{\text{pasang}}} &= n \cdot \text{luas tulangan letur} \\
 &= 6 \cdot 283,38 \text{ mm}^2 \\
 &= 1.700,31 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$A_{s_{\text{pasang}}} = 1.700,31 \text{ mm}^2 > A_{s_{\text{perlu}}} = 1.565,64 \text{ mm}^2$$

(memenuhi)

- Luasan tulangan perlu tekan + luasan tambahan puntir longitudinal sisi bawah balok :

$$\begin{aligned}
 A_{s'} \text{ perlu} &= A_{s'} + \frac{A_l}{4} \\
 &= 0 + \frac{589,07 \text{ mm}^2}{4} \\
 &= 147,27 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan pasang lentur tekan

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_{s'} \text{ perlu}}{\text{Luas tulangan lentur}} = \frac{147,27 \text{ mm}^2}{283,38 \text{ mm}^2} \\
 &= 0,52 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 2D19

$$\begin{aligned}
 As'_{\text{pasang}} &= n \cdot \text{luas tulangan letur} \\
 &= 2 \cdot 283,38 \text{ mm}^2 \\
 &= 566,77 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$As'_{\text{pasang}} = 566,77 \text{ mm}^2 > As'_{\text{perlu}} = 147,27 \text{ mm}^2$$

(memenuhi)

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan tulangan tarik 1 lapis 6D19 dan tulangan tekan 1 lapis 2D19

- **Kontrol Tulangan Tarik**

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \cdot t_{\text{decking}}) - (2 \cdot \phi_{\text{geser}}) - (\text{jml tul} \cdot D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{300 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - (2 \cdot 8 \text{ mm}) - (4 \cdot 19 \text{ mm})}{4 - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = 43 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{\text{maks}} = 43 \text{ mm} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)}$$

- **Kontrol Tulangan Tekan**

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \cdot t_{\text{decking}}) - (2 \cdot \phi_{\text{geser}}) - (\text{jml tul} \cdot D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{300 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - (2 \cdot 8 \text{ mm}) - (2 \cdot 19 \text{ mm})}{2 - 1}$$

$$S_{maks} = 166 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{maks} = 166 \text{ mm} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negative maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut.

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{s\text{pasang}} &= 6D19 \\ &= 6 \cdot 0,25 \cdot 3,14 \cdot (19 \text{ mm})^2 \\ &= 1700,31 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s' \text{ pasang}} &= 2D19 \\ &= 2 \cdot 0,25 \cdot 3,14 \cdot (19 \text{ mm})^2 \\ &= 566,77 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} \cdot M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$1700,31 \text{ mm}^2 \geq 188,92 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$a = \frac{(A_s \cdot f_y)}{(0,85 \cdot f_c' \cdot b)}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{(1700,31 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2)}{(0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2 \cdot 300 \text{ mm})} \\
&= 106,69 \text{ mm} \\
M_n &= 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \cdot d - \left(\frac{a}{2}\right) \\
&= 0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2 \cdot 106,69 \text{ mm} \cdot 300 \text{ mm} \\
&\quad \cdot \left(342,5 \text{ mm} - \left(\frac{106,69 \text{ mm}}{2}\right)\right) \\
&= 196.662.575,46 \text{ N.mm}
\end{aligned}$$

Maka,

$$\theta M_{n_{\text{pasang}}} > M_u$$

$$0,8 \cdot 196.662.575,46 \text{ N.mm} > 135.256.899 \text{ N.mm}$$

$$157.330.060 \text{ N.mm} > 135.256.899 \text{ N.mm}$$

(memenuhi)

Jadi, penulangan lentur untuk balok B1 (30/40) As C,2-3 pada daerah tumpuan kanan dipakai tulangan tarik 6D19 dan tulangan tekan 2D19 dengan susunan sebagai berikut :

- Tulangan tarik
 Lapis 1 : 4D19
 Lapis 2 : 2D19
- Tulangan Tekan 1 Lapis
 Lapis 1 : 2D19

❖ Daerah Lapangan

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned}
X_b &= \frac{600}{600 + f_y} \cdot d \\
&= \frac{600}{600 + 400} \cdot 342,5 \text{ mm} \\
&= 205,5 \text{ mm}
\end{aligned}$$

(SNI 03-2847-2002, Pasal 12.2.2)

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned}
 X_{\max} &= 0,75 \cdot X_{\text{balance}} \\
 &= 0,75 \cdot 205,5 \text{ mm} \\
 &= 154,125 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned}
 X_{\min} &= d' \\
 &= 57,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 150 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{\text{rencana}} \\
 &= 0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2 \cdot 300 \text{ mm} \cdot 0,85 \cdot 150 \text{ mm} \\
 &= 812.812,5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Luas tulangan lentur gaya tarik tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 A_{sc} &= \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{\text{rencana}}}{f_y} \\
 &= \frac{0,85 \cdot 25 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 300 \text{ mm} \cdot 0,85 \cdot 150 \text{ mm}}{400 \text{ N/mm}^2} \\
 &= 2032,03 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= A_{sc} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{\beta_1 \cdot X_{\text{rencana}}}{2} \right) \\
 &= 2032,03 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2 \cdot \left(342,5 \text{ mm} - \frac{0,85 \cdot 150 \text{ mm}}{2} \right)
 \end{aligned}$$

$$= 226.571.484 \text{ N.mm}$$

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :

$$1,2 \text{ D} + 1 \text{ L} + 1 \text{ EQX} + 0,3 \text{ EQY}$$

$$\text{Mu}_{\text{lapangan}} = 35.681.214,97 \text{ N.mm}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$\text{Mn} = \frac{\text{Mu}_{\text{lapangan}}}{\phi}$$

$$\text{Mn} = \frac{35681214,97 \text{ N.mm}}{0,80}$$

$$\text{Mn} = 44.601.518,71 \text{ N.mm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$\text{Mns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$\text{Mns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\text{Mns} = \text{Mn} - \text{Mnc}$$

$$= 44.601.518,71 \text{ N.mm} - 226.571.484 \text{ N.mm}$$

$$= -181.969.965,66 \text{ N.mm}$$

Maka,

$$\text{Mns} = -181.969.965,66 \text{ N.mm} < 0$$

Maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

- Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned} \text{Rn} &= \frac{\text{Mn}}{\text{b} \cdot \text{d}^2} \\ &= \frac{44601518,71 \text{ N.mm}}{300 \text{ mm} \cdot (342,5 \text{ mm})^2} \end{aligned}$$

$$= 1,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{F_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400 \text{ MPa}} \right) \\ &= 0,0325\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\ &= 0,75 \cdot 0,0325 \\ &= 0,024\end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned}m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \\ &= \frac{400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2} \\ &= 18,82\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{18,82} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,82 \cdot 1,3 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}} \right] \\ &= 0,0033\end{aligned}$$

$$\begin{array}{ccccc}\rho_{\min} & < & \rho_{\text{perlu}} & < & \rho_{\max} \\ 0,0035 & < & 0,0033 & < & 0,024\end{array} \quad (\text{tidak memenuhi})$$

$$\begin{aligned}A_{\text{Sperlu}} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d \\ &= 0,0033 \cdot 300 \text{ mm} \cdot 342,5 \text{ mm} \\ &= 335,89 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas tulangan lentur} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= 0,25 \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2 \\ &= 283,38 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur + luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur

Jumlah tulangan pasang :

- Luasan tulangan perlu lentur tarik+ luasan tambahan puntir longitudinal sisi atas balok :

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\ &= 335,89 \text{ mm}^2 + \frac{589,07 \text{ mm}^2}{4} \\ &= 483,16 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan pasang lentur tarik

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{Luas tulangan lentur}} = \frac{483,16 \text{ mm}^2}{283,38 \text{ mm}^2} \\ &= 1,7 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 2D19

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= n \cdot \text{luas tulangan lentur} \\ &= 2 \cdot 283,38 \text{ mm}^2 \\ &= 566,77 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$A_{s_{\text{pasang}}} = 566,77 \text{ mm}^2 > A_{s_{\text{perlu}}} = 483,16 \text{ mm}^2$$

(memenuhi)

- Luasan tulangan perlu tekan + luasan tambahan puntir longitudinal sisi bawah balok :

$$\begin{aligned} A_{s' \text{ perlu}} &= A_{s'} + \frac{A_l}{4} \\ &= 0 + \frac{589,07 \text{ mm}^2}{4} \\ &= 147,27 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan pasang lentur tekan

$$n = \frac{As'_{\text{perlu}}}{\text{Luas tulangan lentur}} = \frac{147,27 \text{ mm}^2}{283,38 \text{ mm}^2} = 0,52 \text{ buah} \approx \mathbf{2 \text{ buah}}$$

Dipasang tulangan lentur 2D19

$$\begin{aligned} As'_{\text{pasang}} &= n \cdot \text{luas tulangan letur} \\ &= 2 \cdot 283,38 \text{ mm}^2 \\ &= 566,77 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$As'_{\text{pasang}} = 566,77 \text{ mm}^2 > As'_{\text{perlu}} = 147,27 \text{ mm}^2$$

(memenuhi)

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan tulangan tarik 1 lapis 2D19 dan tulangan tekan 1 lapis 2D19

- **Kontrol Tulangan Tarik**

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \cdot t_{\text{decking}}) - (2 \cdot \phi_{\text{geser}}) - (\text{jml tul. D}_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{300 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - (2 \cdot 8 \text{ mm}) - (2 \cdot 19 \text{ mm})}{2 - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = 166 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{\text{maks}} = 166 \text{ mm} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \quad \mathbf{(memenuhi)}$$

- **Kontrol Tulangan Tekan**

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \cdot t_{\text{decking}}) - (2 \cdot \phi_{\text{geser}}) - (\text{jml tul} \cdot D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{300 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - (2 \cdot 8 \text{ mm}) - (2 \cdot 19 \text{ mm})}{2 - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = 166 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{\text{maks}} = 166 \text{ mm} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negative maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut.

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= 2D19 \\ &= 2 \cdot 0,25 \cdot 3,14 \cdot (19 \text{ mm})^2 \\ &= 566,77 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'_{\text{pasang}}} &= 2D19 \\ &= 2 \cdot 0,25 \cdot 3,14 \cdot (19 \text{ mm})^2 \\ &= 566,77 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} \cdot M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$566,77 \text{ mm}^2 \geq 188,92 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(memenuhi)}$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$a = \frac{(A_s \cdot f_y)}{(0,85 \cdot f_c' \cdot b)}$$

$$= \frac{(566,77 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2)}{(0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2 \cdot 300 \text{ mm})}$$

$$= 35,56 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \cdot d - \left(\frac{a}{2} \right) \\ &= 0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2 \cdot 35,56 \text{ mm} \cdot 300 \text{ mm} \\ &\quad \cdot \left(342,5 \text{ mm} - \left(\frac{35,56 \text{ mm}}{2} \right) \right) \\ &= 73.616.390,61 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Maka,

$$\phi M_{n \text{ pasang}} > M_u$$

$$0,8 \cdot 73.616.390,61 \text{ N.mm} > 35.681.215 \text{ N.mm}$$

$$58.893.112,49 \text{ N.mm} > 35.681.215 \text{ N.mm}$$

(memenuhi)

Jadi, penulangan lentur untuk balok B1 (30/40) As C,3-4 pada daerah tumpuan kanan dipakai tulangan tarik 2D19 dan tulangan tekan 2D19 dengan susunan sebagai berikut :

- Tulangan Tarik 1 Lapis

Lapis 1 : 2D19

Tulangan Tekan 1 Lapis

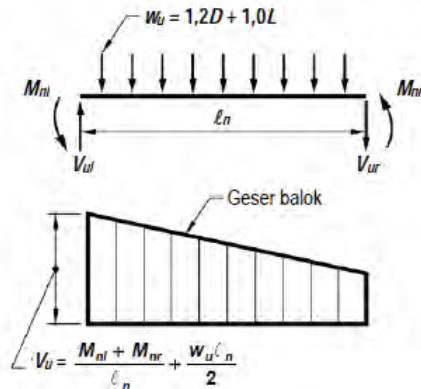
Lapis 1 : 2D19

4.5.1.3. PENULANGAN GESER BALOK

- Data Perencanaan balok sebagai berikut :
 - L balok = 5750 mm
 - b balok = 300 mm
 - h balok = 400 mm
 - Kuat tekan beton f_c' = 25 Mpa
 - Kuat leleh tulangan geser (f_y geser) = 240 MPa
 - Diameter tulangan lentur (ϕ lentur) = 19 mm
 - Diameter tulangan geser (ϕ geser) = 8 mm
 - Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) = 0,75
- (SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3)*

Berdasarkan perhitungan tulangan lentur pada **B1 (30/40)**
As C,3-4 didapat :

Momen Tulangan Terpasang



Gambar 4. 16.Perencanaan Geser Desain untuk SRPMM

- **Momen Pasang tumpuan kiri**
 Dipasang tulangan tarik 2D19, $A_s = 566,77 \text{ mm}^2$

Tinggi balok gaya tekan beton :

$$a = \left(\frac{A_s \text{ pasang} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \right)$$

$$= \left(\frac{566,77 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2 \cdot 300 \text{ mm}} \right)$$

$$= 35,56 \text{ mm}$$

Cek momen nominal pasang :

$$M_{nl} = A_{s_{\text{pasang}}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 566,77 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2 \cdot \left(342,5 \text{ mm} - \frac{35,56 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$= 73.616.390,61 \text{ N.mm}$$

- **Momen Pasang tumpuan kanan**

Dipasang tulangan tekan 6D19, $A_s = 1.700,31 \text{ mm}^2$

Tinggi balok gaya tekan beton :

$$a = \left(\frac{A_{s \text{ pasang}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \right)$$

$$= \left(\frac{1700,31 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2 \cdot 300 \text{ mm}} \right)$$

$$= 106,69 \text{ mm}$$

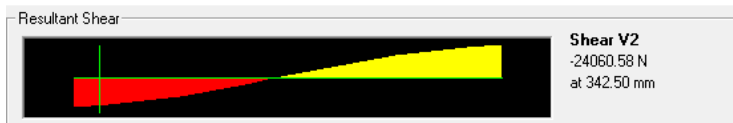
Cek momen nominal pasang :

$$M_{nr} = A_{s_{\text{pasang}}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 1700,31 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2 \cdot \left(342,5 \text{ mm} - \frac{106,69 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$= 196.662.575,5 \text{ N.mm}$$

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1,2D + 1L, dari analisa SAP2000 didapatkan :



Gaya geser terfaktor $V_u = 24.060,58 \text{ N}$

(Dimana V_u diambil sejarak $d = 342,5 \text{ mm}$)

(SNI 03-2847-2013 pasal 11.1.3.1)

Syarat kuat tekan beton :

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 8,3 MPa

[SNI 03-2847-2013 pasal 11.1.2]

$$\sqrt{f_c'} < 8,3$$

$$\sqrt{25} < 8,3$$

$$5 < 8,3 \text{ (memenuhi)}$$

- Kuat geser beton

(SNI 03-2847-2002 pasal 13.3.1.1)

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{25 \text{ N/mm}^2} \cdot 300 \text{ mm} \cdot 342,5 \text{ mm} \\ &= 85.625 \text{ N} \end{aligned}$$

- Kuat Geser Tulangan Geser

$$\begin{aligned} V_{s_{\min}} &= \frac{1}{3} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{1}{3} \cdot 300 \text{ mm} \cdot 342,5 \text{ mm} \\ &= 34.250 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s_{\max}} &= \frac{1}{3} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{1}{3} \cdot \sqrt{25 \text{ N/mm}^2} \cdot 300 \text{ mm} \cdot 342,5 \text{ mm} \\ &= 171.250 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2.V_{s_{\max}} &= \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{2}{3} \cdot \sqrt{25 \text{ N/mm}^2} \cdot 300 \text{ mm} \cdot 342,5 \text{ mm} \\ &= 342.500 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya geser pada ujung perletakan diperoleh dari :

$$\begin{aligned}
 V_{u1} &= \frac{M_{nl} + M_{nr}}{L_n} + \frac{W_u \times L_n}{2} \\
 &= \frac{M_{nl} + M_{nr}}{L_n} + V_u
 \end{aligned}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.6.2)

Dimana :

V_{u1} = Gaya geser pada muka perletakan

M_{nl} = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

M_{nr} = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

L_n = Panjang balok bersih

$$\begin{aligned}
 V_{u1} &= \frac{M_{nl} + M_{nr}}{L_n} + V_{utumpuan} \\
 &= \frac{73616390,61 \text{ Nmm} + 196.662.575,5 \text{ Nmm}}{5750 \text{ mm}} + 24060,58 \text{ N} \\
 &= 71.065,6 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- Pembagian Wilayah Geser Balok

Wilayah balok dibagi menjadi 2 wilayah, yaitu :

1. Wilayah tumpuan seperempat bentang bersih balok dari muka kolom.
2. Wilayah lapangan dimulai dari akhir wilayah tumpuan sampai ke tengah bentang balok



Gambar 4. 17. Diagram Gaya Geser pada Balok

Penulangan Geser Balok

1. Pada wilayah tumpuan

$$V_{u1} = 71.065,6 \text{ N}$$

Cek kondisi :

Kondisi 1

$V_u \leq 0,5 \cdot \emptyset \cdot V_c \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser

$$71.065,6 \text{ N} \leq 0,5 \cdot 0,75 \cdot 85.625 \text{ N}$$

$$71.065,6 \text{ N} \leq 32.109,375 \text{ N} \quad \textbf{(Tidak Memenuhi)}$$

Kondisi 2

$0,5 \cdot \emptyset \cdot V_c \leq V_u \leq \emptyset \cdot V_c \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser

$$0,5 \cdot 0,75 \cdot 85.625 \text{ N} \leq 71.065,6 \text{ N} \leq 0,75 \cdot 85.625 \text{ N}$$

$$32.109,375 \text{ N} \leq 71.065,6 \text{ N} \leq 64.218,75 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Kondisi 3

$\emptyset \cdot V_c \leq V_u \leq \emptyset \cdot (V_c + V_{smin}) \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser

$$0,75 \cdot 85.625 \text{ N} \leq 71.065,6 \text{ N} \leq 0,75 \cdot (85.625 \text{ N} + 34.250 \text{ N})$$

$$64.218,75 \text{ N} \leq 71.065,6 \text{ N} \leq 89.906,25 \text{ N}$$

(Memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser kolom diambil berdasarkan **Kondisi 3**

$$\begin{aligned} V_{s\text{perlu}} &= \frac{1}{3} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{1}{3} \cdot 300 \text{ mm} \cdot 342,5 \text{ mm} \\ &= 34.250 \text{ N} \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø8 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= (0,25 \cdot \pi \cdot d^2) \cdot n \text{ buah} \\ &= (0,25 \cdot \pi \cdot (8 \text{ mm})^2) \cdot 2 \\ &= 100,48 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{perlu})

$$\begin{aligned}
 S_{perlu} &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot 3}{b} \\
 &= \frac{100,48 \text{ mm}^2 \cdot 240 \text{ N/mm}^2 \cdot 3}{300 \text{ mm}} \\
 &= 241,15 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Berdasarkan Kondisi 3

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &\leq \frac{d}{2} \\
 241,15 \text{ mm} &\leq \frac{342,5 \text{ mm}}{2} \\
 241,15 \text{ mm} &\leq 171,25 \text{ mm} \quad \textbf{(tidak memenuhi)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &\leq 600 \text{ mm} \\
 241,15 \text{ mm} &\leq 600 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Senggang harus dispasikan tidak lebih dari $d/2$ sepanjang balok.
(SNI 03-2847-2013 Pasal 23.3.4.3)

Dipakai tulangan geser Ø8 – 85 mm

Cek Persyaratan SRPMM untuk Kekuatan Geser Balok

Cek persyaratan berdasarkan (SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.2) pada kedua ujung komponen harus dipasang sengkang sepanjang panjang tidak kurang dari $2h$ diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama harus ditempatkan pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu.

1. Seperempat tinggi efektif

$$\begin{aligned}
 S_o &\leq d/4 \\
 85 \text{ mm} &\leq 342,5 \text{ mm}/4 \\
 85 \text{ mm} &\leq 85,625 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)}
 \end{aligned}$$

2. Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil,

$$\begin{aligned}
 S_o &\leq 8 \cdot D \text{ lentur} \\
 85 \text{ mm} &\leq 8 \cdot 19 \text{ mm} \\
 85 \text{ mm} &\leq 152 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)}
 \end{aligned}$$

3. 24 kali diameter sengkang,
 $S_o \leq 24 \cdot \emptyset \text{ sengkang}$
 $85 \text{ mm} \leq 24 \cdot 8 \text{ mm}$
 $85 \text{ mm} \leq 192 \text{ mm}$ **(memenuhi)**
4. $S_o \leq 300 \text{ mm}$
 $85 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm}$ **(memenuhi)**

Kontrol syarat penulangan geser memenuhi, maka S_{pakai} menggunakan jarak $85,625 \text{ mm} \approx 85 \text{ mm}$.
 Sehingga dipasang $\emptyset 8 - 85 \text{ mm}$ dengan sengkang 2 kaki.

2. Pada wilayah lapangan

$$\begin{aligned}
 V_{u2} &= \frac{V_{u1} \cdot \left(\frac{1}{2}Ln - 2h\right)}{\frac{1}{2}Ln} \\
 &= \frac{71.065,6 \text{ N} \cdot \left(\left(\frac{1}{2} \cdot 5750 \text{ mm}\right) - 2 \cdot 400 \text{ mm}\right)}{\frac{1}{2} \cdot 5750 \text{ mm}} \\
 &= 51.290,8 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cek kondisi :

Kondisi 1

$V_u \leq 0,5 \cdot \emptyset \cdot V_c \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser

$$51.290,8 \text{ N} \leq 0,5 \cdot 0,75 \cdot 85.625 \text{ N}$$

$$51.290,8 \text{ N} \leq 32109,375 \text{ N} \quad \textbf{(tidak memenuhi)}$$

Kondisi 2

$0,5 \cdot \emptyset \cdot V_c \leq V_u \leq \emptyset \cdot V_c \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser

$$0,5 \cdot 0,75 \cdot 85625 \text{ N} \leq 51.290,8 \text{ N} \leq 0,75 \cdot 85.625 \text{ N}$$

$$32.109,375 \text{ N} \leq 51.290,8 \text{ N} \leq 64.218,75 \text{ N} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Maka perencanaan penulangan geser kolom diambil berdasarkan

Kondisi 2 yaitu tulangan geser minimum

$$V_{S\text{perlu}} = \frac{1}{3} \cdot b \cdot d$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{3} \cdot 300 \text{ mm} \cdot 342,5 \text{ mm} \\
 &= 34.250 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø8 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned}
 A_v &= (0,25 \cdot \pi \cdot d^2) \cdot n \text{ buah} \\
 &= (0,25 \cdot \pi \cdot (8 \text{ mm})^2) \cdot 2 \\
 &= 100,48 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{perlu})

$$\begin{aligned}
 S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot 3}{b} \\
 &= \frac{100,48 \text{ mm}^2 \cdot 240 \text{ N/mm}^2 \cdot 3}{300 \text{ mm}} \\
 &= 241,15 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Berdasarkan Kondisi 2

$$\begin{aligned}
 S_{\text{maks}} &\leq \frac{d}{2} \\
 241,15 \text{ mm} &\leq \frac{342,5 \text{ mm}}{2} \\
 241,15 \text{ mm} &\leq 171,25 \text{ mm} \quad \text{(tidak memenuhi)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{maks}} &\leq 600 \text{ mm} \\
 241,15 \text{ mm} &\leq 600 \text{ mm} \quad \text{(memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Senggang harus dispasikan tidak lebih dari $d/2$ sepanjang balok.
(SNI 03-2847-2013 Pasal 23.3.4.3)

Dipakai tulangan geser Ø8 – 100 mm

Cek Persyaratan SRPMM untuk Kekuatan Geser Balok

Cek persyaratan berdasarkan (SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.2) pada kedua ujung komponen harus dipasang sengkang sepanjang panjang tidak kurang dari **2h** diukur dari muka perletakan ke arah

tengah bentang. Senggang pertama harus ditempatkan pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu.

1. Seperempat tinggi efektif
 $S_o \leq d/4$
 $100 \text{ mm} \leq 342,5 \text{ mm}/4$
 $100 \text{ mm} \leq 85,625 \text{ mm}$ **(tidak memenuhi)**
2. Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil,
 $S_o \leq 8 \cdot D \text{ lentur}$
 $100 \text{ mm} \leq 8 \cdot 19 \text{ mm}$
 $100 \text{ mm} \leq 152 \text{ mm}$ **(memenuhi)**
3. 24 kali diameter sengkang,
 $S_o \leq 24 \cdot \varnothing \text{ sengkang}$
 $100 \text{ mm} \leq 24 \cdot 8 \text{ mm}$
 $100 \text{ mm} \leq 192 \text{ mm}$ **(memenuhi)**
4. $S_o \leq 300 \text{ mm}$
 $100 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm}$ **(memenuhi)**

Kontrol syarat penulangan geser tidak memenuhi, maka S_{pakai} menggunakan jarak minimum kontrol yaitu $171,25 \text{ mm} \approx 150 \text{ mm}$.

Sehingga dipasang $\varnothing 8$ -150 mm dengan sengkang 2 kaki.

4.5.1.4. PANJANG PENYALURAN TUL.BALOK

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan. Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan *SNI 03-2847-2013 pasal 12*.

Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tarik

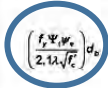
Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.2**.

Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm.

(**SNI 03-2847-2002 Pasal 12.2.1**)

Untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dapat dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.2** sebagai berikut :

Tabel 4. 5. Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir

	Batang tulangan atau kawat ulir D-19 dan yang lebih kecil	Batang tulangan D-22 dan yang lebih besar
Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari d_b , selimut bersih tidak kurang dari d_b , dan sengkang atau pengikat sepanjang ℓ_d tidak kurang dari minimum Tata Cara atau Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut bersih tidak kurang dari d_b		$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1.7\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$
Kasus-kasus lain	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1.44\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1.1\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$

(**SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.2**)

Dimana :

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$\Psi_t = 1,3$$

(**SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.4.a**)

$$\Psi_e = 0,8$$

(**SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.4.c**)

$$\lambda = 1 \text{ (beton normal)}$$

(**SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.4.d**)

$$f'_c = 25 \text{ MPa}$$

$$d_b = 19 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{f_y \cdot \psi_t \cdot \psi_e}{2,1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_{c'}}} \right) &= \frac{\lambda_d}{db} \geq 300 \text{ mm} \\ \left(\frac{400 \cdot 1,3 \cdot 0,8}{2,1 \cdot 1 \cdot \sqrt{25}} \right) &= \frac{\lambda_d}{19 \text{ mm}} \geq 300 \text{ mm} \\ \lambda_d &= 752,8 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= 1565,64 \text{ mm}^2 \\ A_{s_{\text{pasang}}} &= 1700,31 \text{ mm}^2 \\ \text{Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda_{d \text{ reduksi}} &= \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_{s \text{ terpasang}}} \cdot \lambda_d \\ \lambda_{d \text{ reduksi}} &= \frac{1565,64 \text{ mm}^2}{1700,31 \text{ mm}^2} \times 752,8 \text{ mm} \\ &= 693,14 \text{ mm} \approx 695 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 695 mm

Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tekan

Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3**

Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan tidak boleh kurang dari 200 mm.

(SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.1)

$$\begin{aligned} \left(\frac{0,24 \cdot f_y}{\lambda \cdot \sqrt{f_{c'}}} \right) &= \frac{\lambda_d}{db} \geq 200 \text{ mm} \\ \left(\frac{0,24 \cdot 400}{1 \cdot \sqrt{25}} \right) &= \frac{\lambda_d}{19 \text{ mm}} \geq 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\lambda_d = 364,8 \text{ mm} \geq 200 \text{ mm (memenuhi)}$$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= 1565,64 \text{ mm}^2 \\ A_{s_{\text{pasang}}} &= 1700,31 \text{ mm}^2 \\ \text{Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \lambda_{d \text{ reduksi}} &= \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ terpasang}} \times \lambda_d \\
 &= \frac{1565,64 \text{ mm}^2}{1700,31 \text{ mm}^2} \times 364,8 \text{ mm} \\
 &= 335,9 \text{ mm} \approx 340 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan 340 mm.

Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tarik

Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5**

Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 150 mm.

(SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5.1)

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$\psi_e = 1,2$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5.2.)

$$\lambda = 0,75 \text{ (beton normal)}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5.2.)

$$\left(\frac{0,24 \cdot \psi_e \cdot f_y}{\lambda \cdot \sqrt{f_{c'}}} \right) = \frac{\lambda_d}{d_b} \geq 150 \text{ mm}$$

$$\left(\frac{0,24 \cdot 1,2 \cdot 400}{0,75 \cdot \sqrt{25}} \right) = \frac{\lambda_d}{19 \text{ mm}} \geq 150 \text{ mm}$$

$$\lambda_d = 583,68 \text{ mm} \geq 150 \text{ mm (memenuhi)}$$

$$As_{\text{perlu}} = 1565,64 \text{ mm}^2$$

$$As_{\text{pasang}} = 1700,31 \text{ mm}^2$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\lambda_{d \text{ reduksi}} = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ terpasang}} \times \lambda_{hb}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1565,64 \text{ mm}^2}{1700,31 \text{ mm}^2} \times 583,68 \text{ mm} \\
 &= 537,5 \text{ mm} \approx 540 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik 540 mm.

Untuk panjang kait dengan D19 ditambah perpanjangan **12d_b** pada penulangan sloof

(SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5.1)

$$\begin{aligned}
 12d_b &= 12 \cdot 19 \text{ mm} \\
 &= 228 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

4.5.1.5. KONTROL RETAK

Bila tegangan leleh rencana f_y untuk tulangan tarik melebihi 300 MPa, maka penampang dengan momen positif dan negatif maksimum harus dirancang sedemikian hingga nilai:

$$\begin{aligned}
 z &= f_s \cdot \sqrt[3]{d_c A} < 30 \text{ MN/mm}^2 \\
 &\text{(untuk penampang di dalam ruangan)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 z &= f_s \cdot \sqrt[3]{d_c A} < 25 \text{ MN/mm}^2 \\
 &\text{(untuk penampang yang dipengaruhi cuaca luar)}
 \end{aligned}$$

(SNI 03-2847-2002 Pasal 12.6.4)

$$\begin{aligned}
 d_c &= \text{decking} + (0,5 \cdot D \text{ lentur}) \\
 &= 40 \text{ mm} + (0,5 \cdot 19 \text{ mm}) \\
 &= 49,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{2d_c \cdot b_w}{n}, \text{ dengan } n \text{ adalah jumlah tulangan} \\
 &= \frac{2 \cdot 49,5 \text{ mm} \cdot 300 \text{ mm}}{6} \\
 &= 4950 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$z = f_s \cdot \sqrt[3]{d_c A}$$

$$\begin{aligned}
 z &= 0,6 f_s \cdot \sqrt[3]{d_c A} \\
 &= 0,6 \cdot 400 \text{ N/mm}^2 \cdot \sqrt[3]{49,5 \text{ mm} \cdot 4950 \text{ mm}^2} \\
 &= 15018 \text{ N/mm} \\
 &= 15,018 \text{ MN/mm} < 30 \text{ MN/mm} \\
 &\quad \textbf{(memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Sebagai alternative terhadap perhitungan nilai z , dapat dilakukan dengan perhitungan lebar retak yang diberikan oleh :

$$\begin{aligned}
 \omega &= 11 \cdot 10^{-6} \cdot \beta \cdot f_s \cdot \sqrt[3]{d_c A} \\
 &= 11 \cdot 10^{-6} \cdot 0,85 \cdot 400 \text{ /mm}^2 \cdot \sqrt[3]{49,5 \text{ mm} \cdot 4950 \text{ mm}^2} \\
 &= 0,23 \text{ mm} < 0,4 \text{ mm} \\
 &\quad \textbf{(memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Nilai lebar retak yang diperoleh tidak boleh melebihi 0,4 mm untuk penampang didalam ruangan dan 0,3 mm untuk penampang yang dipengaruhi cuaca luar, dimana $\beta = 0,85$ untuk $f_c' \leq 30 \text{ MPa}$.

Jadi penulangan Balok Induk B1 (30/40), As C,3-4 elevasi + 7,38 adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 6. Tabel Penulangan Balok Induk Arah Y

PENULANGAN BALOK INDUK ARAH Y				
	KOMBINASI	BALOK INDUK ARAH Y		
TULANGAN TORSI		TIDAK MEMERLUKAN TUL.TORSI		
TULANGAN LENTUR TUMPUAN KIRI	$1.2D + 1L + 0.3Ex + 1Ey$			
tulangan tarik		2	D19	
tulangan tekan		2	D19	
TULANGAN LENTUR TUMPUAN KANAN	$1.2D + 1L + 0.3Ex + 1Ey$			
tulangan tarik		6	D19	
tulangan tekan		2	D19	
TULANGAN LENTUR LAPANGAN	$1.2D + 1L + 0.3Ex + 1Ey$			
tulangan tarik		2	D19	
tulangan tekan		2	D19	
TULANGAN GESER	$1.2D + 1L$			
wilayah tumpuan		Ø8 -	85	
wilayah lapangan		Ø8 -	150	
PANGJANG PENYALURAN				
penyaluran tarik		695	mm	
penyaluran tekan		340	mm	

penyaluran berkait tarik		540	mm	
penyaluran kait	12 . db	228	≈	230
KONTROL RETAK	0.23	<	0.4	MEMENUHI

4.5.2. PERHITUNGAN BALOK INDUK ARAH X

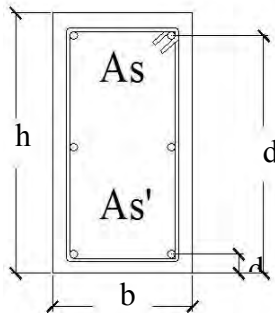
Perhitungan tulangan balok B2 (20/30) . Berikut data-data perencanaan balok, gambar denah pembalokan, hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000, ketentuan perhitungan penulangan balok dengan metode SRPMM, perhitungan serta hasil akhir gambar penampang balok adalah sebagai berikut :

- Data-data perencanaan tulangan balok :
 - Tipe balok : B2 (20/30)
 - As balok : 2,D-E
 - Bentang balok (L balok) : 2500 mm
 - Lebar balok (b balok) : 300 mm
 - Tinggi balok (h balok) : 400 mm
 - Kuat tekan beton (f_c') : 25 MPa
 - Kuat leleh tulangan lentur (f_y) : 400 MPa
 - Kuat leleh tulangan geser (f_{yv}) : 240 MPa
 - Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt}) : 400 MPa
 - Diameter tulangan lentur (D lentur) : 19 mm
 - Diameter tulangan geser (\emptyset geser) : 8 mm
 - Diameter tulangan puntir (\emptyset puntir) : 10 mm
 - Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar) : 25 mm
(SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.2)
 - Tebal selimut beton (t decking) : 40 mm
(SNI 03-2847-2002 pasal 7.7.1.c)
 - Faktor β_1 : 0,85
(SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.3)
 - Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ) : 0,8
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.7.a)
 - Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) : 0,75
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3)
 - Faktor reduksi kekuatan puntir (ϕ) : 0,75
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3)

Maka, tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned} d &= h - \text{decking} - \varnothing \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \varnothing \text{ tul lentur} \\ &= 300 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 8 \text{ mm} - \left(\frac{1}{2} \cdot 19 \text{ mm}\right) \\ &= 242,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \varnothing \text{ sengkang} + \frac{1}{2} \varnothing \text{ tul lentur} \\ &= 40 \text{ mm} + 8 \text{ mm} + \left(\frac{1}{2} \cdot 19 \text{ mm}\right) \\ &= 57,5 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar 4. 18. Luasan Acp dan Pcp

Hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 :

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu SAP 2000, maka didapatkan hasil output dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulangan balok.

Adapun dalam pengambilan hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan yang digunakan terdiri dari kombinasi beban gravitasi dan kombinasi beban gempa.

Kombinasi Beban Gravitasi :

Pembebanan akibat beban mati dan beban hidup.

$$U = 1,4 D$$

$$U = 1,2 D + 1,6 L$$

$$U = 1,2D + 1 L$$

Kombinasi Beban Gempa :

- Pembebanan akibat beban gravitasi dan beban gempa positif searah sumbu X.

$$U = 1,2 D + 1 L + 1 EQX + 0,3 EQY$$

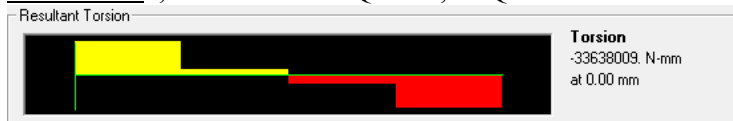
$$U = 0,9 D + 1 EQX$$

$$U = 0,9 D + 1 EQY$$

Untuk perhitungan tulangan torsi, lentur, dan geser pada balok maka diambil momen yang terbesar dari kombinasi $U = 1,2 D + 1 L + 1 EQX + 0,3 EQY$.

Hasil Output Diagram Torsi

Kombinasi 1,2 D + 1 L + 1 EQX + 0,3 EQY



Momen torsi : 33.638.009 N.mm

Hasil Output Diagram Momen Lentur

Kombinasi 1,2 D + 1 L + 1 EQX + 0,3 EQY



Akibat kombinasi 1,2 D + 1 L + 1 EQX + 0,3 EQY

Momen tumpuan kiri : 40.496.349 N.mm
 Momen lapangan : 10.268.962,86 N.mm
 Momen tumpuan kanan : 4.555.573,26 N.mm

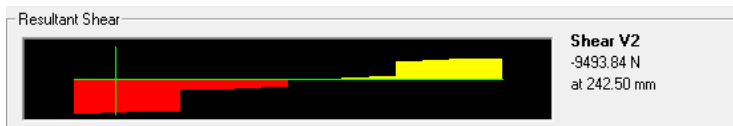
Akibat kombinasi 1,2 D + 1 L + 1 EQX + 0,3 EQY



Gaya terfaktor $V_u = 61.949,69 \text{ N}$

Hasil Output Diagram Gaya Geser

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1,2D + 1L, dari analisa SAP2000 didapatkan :

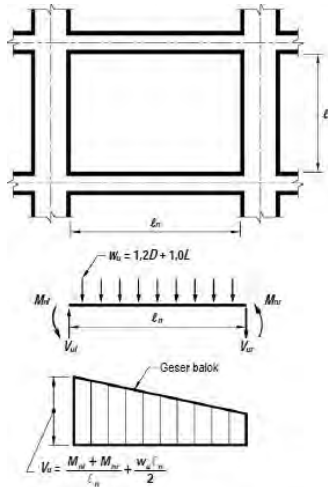


Gaya geser terfaktor $V_u = 9.493,84 \text{ N}$

(Dimana V_u diambil sejarak $d = 242,5 \text{ mm}$)

(SNI 03-2847-2013 pasal 11.1.3.1)

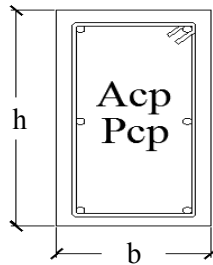
Berdasarkan SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4 mengenai Ketentuan perhitungan penulangan balok dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).



Gambar 4. 19. Gaya Geser Rencana Komponen Balok pada SRPMM

Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser lentur dan puntir

Ukuran penampang balok yang dipakai = 20/30



Gambar 4. 20. Luasan Acp dan Pcp

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned}
 A_{cp} &= b_{\text{balok}} \cdot h_{\text{balok}} \\
 &= 200 \text{ mm} \cdot 300 \text{ mm} \\
 &= 60.000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Parimeter luar irisan penampang beton Acp

$$\begin{aligned}
 P_{cp} &= 2 \cdot (b_{\text{balok}} + h_{\text{balok}}) \\
 &= 2 \cdot (200 \text{ mm} + 300 \text{ mm}) \\
 &= 1000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 A_{oh} &= (b_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) \cdot (h_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) \\
 &= (200 \text{ mm} - (2.40 \text{ mm}) - 8 \text{ mm}) \\
 &\quad \cdot (300 \text{ mm} - (2.40 \text{ mm}) - 8 \text{ mm}) \\
 &= 112 \text{ mm} \times 212 \text{ mm} \\
 &= 23.744 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 P_h &= 2 \cdot [(b_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) + (h_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}})] \\
 &= 2 \cdot [(200 \text{ mm} - (2.40 \text{ mm}) - 8 \text{ mm}) \\
 &\quad + (300 \text{ mm} - (2.40 \text{ mm}) - 8 \text{ mm})] \\
 &= 2 \cdot [112 \text{ mm} + 212 \text{ mm}] \\
 &= 2 \cdot 274 \text{ mm} \\
 &= 648 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

4.5.2.1. PERHITUNGAN PENULANGAN PUNTIR

Berdasarkan hasil out put diagram torsi pada SAP diperoleh momen puntir terbesar :

Momen Puntir Ultimate

Akibat Kombinasi 1,2 D + 1 L + 1 EQX + 0,3 EQY

$$Tu = 33.638.009 \text{ N.mm}$$

Momen Puntir Nominal

$$\begin{aligned}
 T_n &= \frac{T_u}{\phi} \\
 &= \frac{33638009 \text{ N.mm}}{0.75} \\
 &= 44.850.678,67 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Gaya terfaktor Vu Ultimate

Akibat kombinasi 1,2 D + 1 L + 1 EQX + 0,3 EQY

$$V_u = 61.949,69 \text{ N}$$

Pengaruh puntir dapat di abaikan bila momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang daripada :

nilai $\lambda = 0,75$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 8.6.1)

$$\begin{aligned} T_{u_{\min}} &= \phi 0,083 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c'} \cdot \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &\quad (SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.1.a) \\ &= 0,75 \cdot 0,083 \cdot 0,75 \cdot \sqrt{25 \text{ N/mm}^2} \cdot \left(\frac{(60000 \text{ mm}^2)^2}{1000 \text{ mm}} \right) \\ &= 840.375 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

$T_u < T_{u_{\min}}$ maka tulangan puntir di abaikan.

$T_u > T_{u_{\min}}$ maka memerlukan tulangan puntir.

$$T_u = 33.638.009 \text{ N.mm} > T_{u_{\min}} = 840.375 \text{ Nmm}$$

Maka perlu tulangan puntir

Kuat geser yang disumbangkan oleh beton untuk komponen struktur non-prategang berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 11.2.1.1 adalah :**

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f'c'} \times b_w \times d \\ &= 0,17 \times 0,75 \times \sqrt{25 \text{ N/mm}^2} \times 200 \text{ mm} \times 242,5 \text{ mm} \\ &= 30.918,75 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek Kecukupan Penampang Menahan Momen Puntir

Sesuai **SNI 2847:2013 pasal 11.5.3** kekuatan momen torsi harus memenuhi ketentuan sebagai berikut

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1,7 A^2 o h}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d}\right) + 0,66 \sqrt{f'c'}$$

$$\sqrt{\left(\frac{61949,69}{200mm \cdot 242,5mm}\right)^2 + \left(\frac{33638009 \text{ N.mm} \cdot 648 \text{ mm}}{1,7 \cdot 23744 \text{ mm}^2}\right)^2} \leq$$

$$\phi \left(\frac{30918,75 \text{ N}}{200mm \cdot 242,5mm}\right) + 0,66 \sqrt{25 \text{ N/mm}^2}$$

$$22,78 \leq 2,95 \quad (\text{tidak memenuhi})$$

Untuk beton non-prategang

$$\theta = 45^\circ$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3.5.a)

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \cdot A_o \cdot f_y \cdot \cot \theta}$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{44850678,67 \text{ N.mm}}{2 \cdot (20182,4 \text{ mm}^2 \cdot 0.85) \cdot 240 \text{ MPa} \cdot 45}$$

$$\frac{A_t}{s} = 7,5$$

Luas tulangan longitudinal tambahan untuk menahan torsi A_t , harus sesuai dengan **SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.7**.

$$A_t = \frac{A_t}{s} p_h \cdot \frac{f_{yt}}{f_y} \cdot \cot^2 \theta$$

$$= 7,5 \cdot 648 \text{ mm} \cdot \frac{240}{400} \cdot 45^\circ$$

$$= 1.111,3 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.3 tulangan torsi longitudinal minimum harus dihitung dengan ketentuan.

$$\begin{aligned}
 A_{t \min} &= \frac{0,42 \cdot \sqrt{f'c'} A_{cp}}{f_y} - \frac{A_t}{s} p_h \cdot \frac{f_{yt}}{f_y} \\
 &= \frac{0,42 \cdot \sqrt{25 \text{ N/mm}^2} \cdot 60.000 \text{ mm}^2}{400} - 7,5 \cdot 648 \text{ mm} \cdot \frac{240}{400} \\
 &= -2.600,65 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$A_t \leq A_{t \min}$ maka gunakan $A_{t \min}$

$A_t \geq A_{t \min}$ maka gunakan A_t

$A_t < A_{t \min}$

$1111,3 \text{ mm}^2 > -2.600,65 \text{ mm}^2$

Digunakan yang terbesar, $A_{t \min} 1.111,3 \text{ mm}^2$

Penulangan torsi pada tulangan memanjang :

Pada sisi atas = disalurkan pada tulangan tarik balok

Pada sisi bawah = disalurkan pada tulangan tekan balok

Pada sisi kanan dan kiri diperlukan luasan tulangan sebesar

$$\begin{aligned}
 2 \cdot \frac{A_t}{4} &= 2 \cdot \frac{1111,3 \text{ mm}^2}{4} \\
 &= 555,64 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas tulangan lentur} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\
 &= 0,25 \cdot \pi \cdot (16 \text{ mm})^2 \\
 &= 200,96 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan pasang torsi longitudinal (sisi tengah)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{Luas tulangan lentur}} = \frac{555,64 \text{ mm}^2}{200,96 \text{ mm}^2} \\
 &= 2,76 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 4D16

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &= n \cdot \text{luas tulangan lentur} \\
 &= 4 \cdot 200,96 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$= 803,84 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{s_{\text{pasang}}} = 803,84 \text{ mm}^2 > A_{s_{\text{perlu}}} = 555,64 \text{ mm}^2$$

(memenuhi)

Sehingga dipasang tulangan torsi di tumpuan kiri, lapangan, dan tumpuan kanan sebesar 4D16.

4.5.2.2. PENULANGAN LENTUR BALOK

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} X_b &= \frac{600}{600 + f_y} \cdot d \\ &= \frac{600}{600 + 400} \cdot 242,5 \text{ mm} \\ &= 145,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

(SNI 03-2847-2002, Pasal 12.2.2)

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\text{max}} &= 0,75 \cdot X_{\text{balance}} \\ &= 0,75 \cdot 145,5 \text{ mm} \\ &= 109,125 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\text{min}} &= d' \\ &= 57,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$C_{c'} = 0,85 \cdot f_{c'} \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{\text{rencana}}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2 \cdot 200 \text{ mm} \cdot 0,85 \cdot 100 \text{ mm} \\
 &= 270.937,5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Luas tulangan lentur gaya tarik tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 A_{sc} &= \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{rencana}}{f_y} \\
 &= \frac{0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2 \cdot 200 \text{ mm} \cdot 0,85 \cdot 100 \text{ mm}}{400 \text{ N/mm}^2} \\
 &= 903,13 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= A_{sc} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{\beta_1 \cdot X_{rencana}}{2} \right) \\
 &= 903,13 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2 \cdot \left(242,5 \text{ mm} - \frac{0,85 \cdot 100 \text{ mm}}{2} \right) \\
 &= 72.250.000 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Daerah Tumpuan Kiri

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :

$$1,2 \text{ D} + 1 \text{ L} + 1 \text{ EQX} + 0,3 \text{ EQY}$$

$$M_{u_{tumpuan}} = 13.719.515,7 \text{ N.mm}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$M_n = \frac{M_{u_{tumpuan}}}{\phi}$$

$$M_n = \frac{40.496.349 \text{ N.mm}}{0,80}$$

$$M_n = 50.620.436,25 \text{ N.mm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$Mns \geq 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} Mns &= Mn - Mnc \\ &= 50.620.436,25 \text{ N.mm} - 72.250.000 \text{ N.mm} \\ &= -21.629.563,75 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Maka,

$$Mns = -21.629.563,75 \text{ N.mm} < 0$$

Maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned} Rn &= \frac{Mn}{b \cdot d^2} \\ &= \frac{17149394,63 \text{ N.mm}}{200 \text{ mm} \cdot (242,5 \text{ mm})^2} \\ &= 4,3 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{F_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400 \text{ MPa}} \right) \\ &= 0,0325 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\ &= 0,75 \cdot 0,0325 \\ &= 0,024 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_{c'}} \\
 &= \frac{400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2} \\
 &= 18,82
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{18,82} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,82 \cdot 4,3 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}} \right] \\
 &= 0,0121
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \quad (\text{memenuhi})$$

$$0,0035 < 0,0121 < 0,024$$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0121 \cdot 200 \text{ mm} \cdot 242,5 \text{ mm} \\
 &= 589,24 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas tulangan lentur} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\
 &= 0,25 \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2 \\
 &= 283,38 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur + luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur

Jumlah tulangan pasang :

- Luasan tulangan perlu lentur tarik+ luasan tambahan puntir longitudinal sisi atas balok :

$$\begin{aligned}
 A_{s_{\text{perlu}}} &= A_s + \frac{A_t}{4} \\
 &= 589,24 \text{ mm}^2 + \frac{1111,3 \text{ mm}^2}{4} \\
 &= 867,06 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan pasang lentur tarik

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luas tulangan lentur} = \frac{867,06 \text{ mm}^2}{283,38 \text{ mm}^2}$$

$$= 3,06 \text{ buah} \approx 3 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan lentur 3D19

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &= n \cdot \text{luas tulangan letur} \\ &= 3 \cdot 283,38 \text{ mm}^2 \\ &= 850,16 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$As_{\text{pasang}} = 850,16 \text{ mm}^2 > As_{\text{perlu}} = 867,06 \text{ mm}^2$$

(tidak memenuhi)

- Luasan tulangan perlu tekan + luasan tambahan puntir longitudinal sisi bawah balok :

$$\begin{aligned} As' \text{ perlu} &= As' + \frac{At}{4} \\ &= 0 + \frac{1111,3 \text{ mm}^2}{4} \\ &= 277,82 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan pasang lentur tekan

$$n = \frac{As' \text{ perlu}}{Luas tulangan lentur} = \frac{277,82 \text{ mm}^2}{283,38 \text{ mm}^2}$$

$$= 0,98 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan lentur 2D19

$$\begin{aligned} As' \text{ pasang} &= n \cdot \text{luas tulangan letur} \\ &= 2 \cdot 283,38 \text{ mm}^2 \\ &= 566,77 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$As' \text{ pasang} = 566,77 \text{ mm}^2 > As' \text{ perlu} = 277,82 \text{ mm}^2$$

(memenuhi)

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan tulangan tarik 1 lapis 4D19 dan tulangan tekan 1 lapis 2D19

Kontrol Tulangan Tarik

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \cdot t_{decking}) - (2 \cdot \phi_{geser}) - (jml \text{ tul} \cdot D_{lentur})}{jumlah \text{ tulangan} - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{200 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - (2 \cdot 8 \text{ mm}) - (3 \cdot 19 \text{ mm})}{3 - 1}$$

$$S_{maks} = 23,5 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{maks} = 23,5 \text{ mm} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm}$$

(tidak memenuhi)

Kontrol Tulangan Tekan

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \cdot t_{decking}) - (2 \cdot \phi_{geser}) - (jml \text{ tul} \cdot D_{lentur})}{jumlah \text{ tulangan} - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{200 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - (2 \cdot 8 \text{ mm}) - (2 \cdot 19 \text{ mm})}{2 - 1}$$

$$S_{maks} = 66 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{maks} = 66 \text{ mm} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm (memenuhi)}$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negative maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut.

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{s_{pasang}} &= 4 \text{ D19} \\ &= 2 \cdot 0,25 \cdot 3,14 \cdot (19 \text{ mm})^2 \\ &= 1133,54 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'_{pasang}} &= 2 \text{ D19} \\ &= 2 \cdot 0,25 \cdot 3,14 \cdot (19 \text{ mm})^2 \\ &= 566,77 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} \cdot M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$1.133,54 \text{ mm}^2 \geq 188,92 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$a = \frac{(A_s \cdot f_y)}{(0,85 \cdot f_c' \cdot b)}$$

$$= \frac{(1133,54 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2)}{(0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2 \cdot 200 \text{ mm})}$$

$$= 106,69 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{n_{\text{pasang}}} &= 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \cdot d - \left(\frac{a}{2} \right) \\ &= 0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2 \cdot 106,69 \text{ mm} \cdot 200 \text{ mm} \\ &\quad \cdot \left(242,5 \text{ mm} - \left(\frac{106,69 \text{ mm}}{2} \right) \right) \\ &= 128.650.175,46 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Maka,

$$\theta M_{n_{\text{pasang}}} > M_u$$

$$0,8 \cdot 128.650.175,46 \text{ N.mm} > 40.496.349 \text{ N.mm}$$

$$102.920.140,4 \text{ N.mm} > 40.496.349 \text{ N.mm} \text{ (memenuhi)}$$

Jadi, penulangan lentur untuk balok B4 (20/30) As 2,D-E pada daerah tumpuan kiri dipakai tulangan tarik 2D19 dan tulangan tekan 2D19 dengan susunan sebagai berikut :

Tulangan tarik 1 lapis

Lapis 1 : 4D19

Tulangan Tekan 1 Lapis

Lapis 1 : 2D19

Daerah Tumpuan Kanan

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} X_b &= \frac{600}{600 + f_y} \cdot d \\ &= \frac{600}{600 + 400} \cdot 242,5 \text{ mm} \\ &= 145,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

(SNI 03-2847-2002, Pasal 12.2.2)

Garis netral maksimum

$$X_{\text{max}} = 0,75 \cdot X_{\text{balance}}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,75 \cdot 145,5 \text{ mm} \\
 &= 109,125 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned}
 X_{\min} &= d' \\
 &= 57,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{\text{rencana}} \\
 &= 0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2 \cdot 200 \text{ mm} \cdot 0,85 \cdot 100 \text{ mm} \\
 &= 270.937,5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Luas tulangan lentur gaya tarik tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 Asc &= \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{\text{rencana}}}{f_y} \\
 &= \frac{0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2 \cdot 200 \text{ mm} \cdot 0,85 \cdot 100 \text{ mm}}{400 \text{ N/mm}^2} \\
 &= 903,13 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= Asc \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{\beta_1 \cdot X_{\text{rencana}}}{2} \right) \\
 &= 903,13 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2 \cdot \left(242,5 \text{ mm} - \frac{0,85 \cdot 100 \text{ mm}}{2} \right) \\
 &= 72.250.000 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :

$$1,2 D + 1 L + 1 EQX + 0,3 EQY$$

$$Mu_{tumpuan} = 4.555.573,26 \text{ N.mm}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$Mn = \frac{Mu_{tumpuan}}{\phi}$$

$$Mn = \frac{4555573,26 \text{ N. mm}}{0,80}$$

$$Mn = 5.694.466,58 \text{ N. mm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$= 5.694.466,58 \text{ N.mm} - 72.250.000 \text{ N.mm}$$

$$= -66.555.533,43 \text{ N.mm}$$

Maka,

$$Mns = -66.555.533,43 \text{ N.mm} < 0$$

Maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned} Rn &= \frac{Mn}{b \cdot d^2} \\ &= \frac{5694466,58 \text{ N.mm}}{200 \text{ mm} \cdot (242,5 \text{ mm})^2} \\ &= 0,48 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{F_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2} \cdot \left(\frac{600}{600+400 \text{ MPa}} \right)$$

$$= 0,0325$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b$$

$$= 0,75 \cdot 0,0325$$

$$= 0,024$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'}$$

$$= \frac{400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2}$$

$$= 18,82$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{18,82} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,82 \cdot 0,48 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}} \right]$$

$$= 0,0012$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0012 < 0,024 \quad (\text{tidak memenuhi})$$

$$A_s = \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0061 \cdot 200 \text{ mm} \cdot 242,5 \text{ mm}$$

$$= 169,75 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luas tulangan lentur} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

$$= 0,25 \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2$$

$$= 283,38 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan perlu lentur + luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur

Jumlah tulangan pasang :

- Luasan tulangan perlu lentur tarik+ luasan tambahan puntir longitudinal sisi atas balok :

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= A_s + \frac{A_t}{4} \\ &= 169,75 \text{ mm}^2 + \frac{1111,3 \text{ mm}^2}{4} \\ &= 447,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan pasang lentur tarik

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{Luas tulangan lentur}} = \frac{169,75 \text{ mm}^2}{283,38 \text{ mm}^2} \\ &= 1,58 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 2D19

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= n \cdot \text{luas tulangan letur} \\ &= 2 \cdot 283,38 \text{ mm}^2 \\ &= 566,77 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$A_{s_{\text{pasang}}} = 566,77 \text{ mm}^2 > A_{s_{\text{perlu}}} = 169,75 \text{ mm}^2$$

(memenuhi)

- Luasan tulangan perlu tekan + luasan tambahan puntir longitudinal sisi bawah balok :

$$\begin{aligned} A_{s' \text{ perlu}} &= A_{s'} + \frac{A_t}{4} \\ &= 0 + \frac{1111,3 \text{ mm}^2}{4} \\ &= 277,82 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan pasang lentur tekan

$$n = \frac{As' \text{ perlu}}{\text{Luas tulangan lentur}} = \frac{277,82 \text{ mm}^2}{283,38 \text{ mm}^2}$$

= 0,98 buah \approx 2 buah

Dipasang tulangan lentur 2D19

$$\begin{aligned} As'_{\text{pasang}} &= n \cdot \text{luas tulangan letur} \\ &= 2 \cdot 283,38 \text{ mm}^2 \\ &= 566,77 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$As'_{\text{pasang}} = 566,77 \text{ mm}^2 > As' \text{ perlu} = 277,82 \text{ mm}^2$$

(memenuhi)

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan tulangan tarik 1 lapis 6D19 dan tulangan tekan 1 lapis 2D19

Kontrol Tulangan Tarik

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \cdot t_{\text{decking}}) - (2 \cdot \phi_{\text{geser}}) - (\text{jml tul} \cdot D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{200 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - (2 \cdot 8 \text{ mm}) - (2 \cdot 19 \text{ mm})}{2 - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = 66 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{\text{maks}} = 66 \text{ mm} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Tulangan Tekan

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \cdot t_{decking}) - (2 \cdot \phi_{geser}) - (\text{jml tul} \cdot D_{lentur})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{200 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - (2 \cdot 8 \text{ mm}) - (2 \cdot 19 \text{ mm})}{2 - 1}$$

$$S_{maks} = 66 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{maks} = 66 \text{ mm} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negative maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut.

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{s_{pasang}} &= 2D19 \\ &= 2 \cdot 0,25 \cdot 3,14 \cdot (19 \text{ mm})^2 \\ &= 566,77 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'_{pasang}} &= 2D19 \\ &= 2 \cdot 0,25 \cdot 3,14 \cdot (19 \text{ mm})^2 \\ &= 566,77 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} \cdot M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$566,77 \text{ mm}^2 \geq 188,92 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\begin{aligned} a &= \frac{(A_s \cdot f_y)}{(0,85 \cdot f_c' \cdot b)} \\ &= \frac{(566,77 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2)}{(0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2 \cdot 200 \text{ mm})} \\ &= 53,34 \text{ mm} \\ M_{n\text{pasang}} &= 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \cdot d - \left(\frac{a}{2}\right) \\ &= 0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2 \cdot 53,34 \text{ mm} \cdot 200 \text{ mm} \\ &\quad \cdot \left(242,5 \text{ mm} - \left(\frac{53,34 \text{ mm}}{2}\right)\right) \\ &= 73.395.061,37 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned} \phi M_{n\text{pasang}} &> \mu \\ 0,8 \cdot 73.395.061,37 \text{ N.mm} &> 4.555.573,26 \text{ N.mm} \\ 58.716.049,09 \text{ N.mm} &> 4.555.573,26 \text{ N.mm} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Jadi, penulangan lentur untuk balok B4 (20/30) As 2,D-E pada daerah tumpuan kanan dipakai tulangan tarik 2D19 dan tulangan tekan 2D19 dengan susunan sebagai berikut :

Tulangan Tarik 1 Lapis

Lapis 1 : 2D19

Tulangan Tekan 1 Lapis

Lapis 1 : 2D19

Daerah Lapangan

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} X_b &= \frac{600}{600+f_y} \cdot d \\ &= \frac{600}{600+400} \cdot 242,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$= 145,5 \text{ mm}$$

(SNI 03-2847-2002, Pasal 12.2.2)

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \cdot X_{\text{balance}} \\ &= 0,75 \cdot 145,5 \text{ mm} \\ &= 109,125 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 57,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2 \cdot 200 \text{ mm} \cdot 0,85 \cdot 100 \text{ mm} \\ &= 270.937,5 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan lentur gaya tarik tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{\text{rencana}}}{f_y} \\ &= \frac{0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2 \cdot 200 \text{ mm} \cdot 0,85 \cdot 100 \text{ mm}}{400 \text{ N/mm}^2} \\ &= 903,13 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= A_{sc} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{\beta_1 \cdot X_{rencana}}{2} \right) \\
 &= 903,13 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2 \cdot \left(242,5 \text{ mm} - \frac{0,85 \cdot 100 \text{ mm}}{2} \right) \\
 &= 72.250.000 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :

$$1,2 D + 1 L + 1 EQX + 0,3 EQY$$

$$M_{u_{lapangan}} = 10.268.962,86 \text{ N.mm}$$

Momen lentur nominal (M_n)

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_{u_{lapangan}}}{\phi} \\
 M_n &= \frac{10268962,86 \text{ N.mm}}{0,80} \\
 M_n &= 12.836.203,58 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\
 &= 12.836.203,58 \text{ N.mm} - 72.500.000 \text{ N.mm} \\
 &= -59.413.796,43 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Maka,

$$M_{ns} = -59.413.796,43 \text{ N.mm} < 0$$

Maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} \\
 &= \frac{12836203,58 \text{ N.mm}}{200 \text{ mm} \cdot (242,5 \text{ mm})^2} \\
 &= 1,09 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_{c'}}{F_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400 \text{ MPa}} \right) \\
 &= 0,0325
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\
 &= 0,75 \cdot 0,0325 \\
 &= 0,024
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_{c'}} \\
 &= \frac{400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2} \\
 &= 18,82
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{18,82} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,82 \cdot 1,09 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}} \right] \\
 &= 0,0028
 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{lll}
 \rho_{\min} & < & \rho_{\text{perlu}} & < & \rho_{\max} \\
 0,0035 & < & 0,0028 & < & 0,024
 \end{array}
 \quad (\text{tidak memenuhi})$$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0035 \cdot 200 \text{ mm} \cdot 242,5 \text{ mm} \\
 &= 169,75 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas tulangan lentur} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\
 &= 0,25 \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2 \\
 &= 283,38 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur + luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur

Jumlah tulangan pasang :

- Luasan tulangan perlu lentur tarik+ luasan tambahan puntir longitudinal sisi atas balok :

$$\begin{aligned}
 A_{S_{\text{perlu}}} &= A_s + \frac{A_t}{4} \\
 &= 169,75 \text{ mm}^2 + \frac{1111,3 \text{ mm}^2}{4} \\
 &= 447,57 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan pasang lentur tarik

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{Luas tulangan lentur}} = \frac{447,57 \text{ mm}^2}{283,38 \text{ mm}^2} \\
 &= 1,58 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 2D19

$$\begin{aligned}
 A_{S_{\text{pasang}}} &= n \cdot \text{luas tulangan letur} \\
 &= 2 \cdot 283,38 \text{ mm}^2 \\
 &= 566,77 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$A_{S_{\text{pasang}}} = 566,77 \text{ mm}^2 > A_{S_{\text{perlu}}} = 447,57 \text{ mm}^2$$

(memenuhi)

- Luasan tulangan perlu tekan + luasan tambahan puntir longitudinal sisi bawah balok :

$$A_{s' \text{ perlu}} = A_{s'} + \frac{A_t}{4}$$

$$= 0 + \frac{1111,3 \text{ mm}^2}{4}$$

$$= 277,82 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan pasang lentur tekan

$$n = \frac{As' \text{ perlu}}{Luas \text{ tulangan lentur}} = \frac{277,82 \text{ mm}^2}{283,38 \text{ mm}^2}$$

$$= 0,98 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan lentur 2D19

$$As' \text{ pasang} = n \cdot \text{luas tulangan letur}$$

$$= 2 \cdot 283,38 \text{ mm}^2$$

$$= 566,77 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$As'_{\text{pasang}} = 566,77 \text{ mm}^2 > As'_{\text{perlu}} = 277,82 \text{ mm}^2$$

(memenuhi)

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan tulangan tarik 1 lapis 2D19 dan tulangan tekan 1 lapis 2D19

Kontrol Tulangan Tarik

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \cdot t_{\text{decking}}) - (2 \cdot \phi_{\text{geser}}) - (\text{jml tul} \cdot D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{200 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - (2 \cdot 8 \text{ mm}) - (2 \cdot 19 \text{ mm})}{2 - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = 66 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{\text{maks}} = 66 \text{ mm} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm (memenuhi)}$$

Kontrol Tulangan Tekan

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \cdot t_{\text{decking}}) - (2 \cdot \phi_{\text{geser}}) - (\text{jml tul} \cdot D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{200 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - (2 \cdot 8 \text{ mm}) - (2 \cdot 19 \text{ mm})}{2 - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = 66 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{\text{maks}} = 66 \text{ mm} \geq S_{\text{syarat agregat}} = 25 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negative maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut.

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{pasang}}} &= 2D19 \\ &= 2 \cdot 0,25 \cdot 3,14 \cdot (19 \text{ mm})^2 \\ &= 566,77 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s'_{\text{pasang}} &= 2D19 \\
 &= 2 \cdot 0,25 \cdot 3,14 \cdot (19 \text{ mm})^2 \\
 &= 566,77 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} \cdot M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$566,77 \text{ mm}^2 \geq 188,92 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{(A_s \cdot f_y)}{(0,85 \cdot f_c' \cdot b)} \\
 &= \frac{(566,77 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2)}{(0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2 \cdot 200 \text{ mm})} \\
 &= 53,34 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{n_{\text{pasang}}} &= 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \cdot d - \left(\frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2 \cdot 53,34 \text{ mm} \cdot 200 \text{ mm} \\
 &\quad \cdot \left(242,5 \text{ mm} - \left(\frac{53,34 \text{ mm}}{2} \right) \right) \\
 &= 73.395.061,37 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned}
 \phi M_{n_{\text{pasang}}} &> M_u \\
 0,8 \cdot 73.395.061,37 \text{ N.mm} &> 10.268.962,86 \text{ N.mm} \\
 58716049,09 \text{ N.mm} &> 10.268.962,86 \text{ N.mm} \\
 (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Jadi, penulangan lentur untuk balok B4 (20/30) As 2,D-E pada daerah tumpuan kanan dipakai tulangan tarik 2D19 dan tulangan tekan 2D19 dengan susunan sebagai berikut :

Tulangan Tarik 1 Lapis

Lapis 1 : 2D19

Tulangan Tekan 1 Lapis

Lapis 1 : 2D19

4.5.2.3. PENULANGAN GESER BALOK

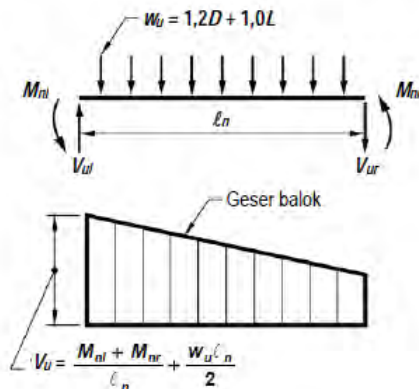
Data Perencanaan balok sebagai berikut :

- L balok = 2500 mm
- b balok = 200 mm
- h balok = 250 mm
- Kuat tekan beton f_c' = 25 Mpa
- Kuat leleh tulangan geser (f_y geser) = 240 MPa
- Diameter tulangan lentur (ϕ lentur) = 19 mm
- Diameter tulangan geser (ϕ geser) = 8 mm
- Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) = 0,75

(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3)

Berdasarkan perhitungan tulangan lentur pada B2 (20/30)
As 2,D-E didapat :

Momen Tulangan Terpasang



Gambar 4. 21.Perencanaan Geser Desain Untuk SRPMM

Momen Pasang tumpuan kiri

Dipasang tulangan tarik 4D19, $A_s = 1.133,54 \text{ mm}^2$

Tinggi balok gaya tekan beton :

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{A_s \text{ pasang} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \right) \\ &= \left(\frac{1133,54 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2 \cdot 200 \text{ mm}} \right) \\ &= 106,69 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek momen nominal pasang :

$$\begin{aligned} M_{nl} &= A_{s \text{ pasang}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1133,54 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2 \cdot \left(242,5 \text{ mm} - \frac{106,69 \text{ mm}}{2} \right) \\ &= 85.766.783,64 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Momen Pasang tumpuan kanan

Dipasang tulangan tekan 2D19, $A_s = 566,77 \text{ mm}^2$

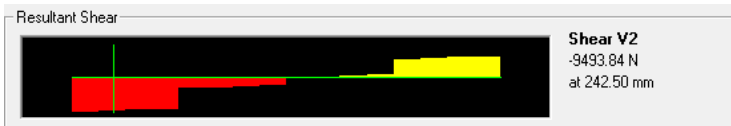
Tinggi balok gaya tekan beton :

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{A_s \text{ pasang} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \right) \\ &= \left(\frac{566,77 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2 \cdot 200 \text{ mm}} \right) \\ &= 53,34 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek momen nominal pasang :

$$\begin{aligned} M_{nr} &= A_{s \text{ pasang}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 566,77 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2 \cdot \left(242,5 \text{ mm} - \frac{53,34 \text{ mm}}{2} \right) \\ &= 48.930.040,91 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1,2D + 1L, dari analisa SAP2000 didapatkan :



Gaya geser terfaktor $V_u = 9.493,84 \text{ N}$
 (Dimana V_u diambil sejarak $d = 242,5 \text{ mm}$)
 (SNI 03-2847-2013 pasal 11.1.3.1)

Syarat kuat tekan beton :

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi $8,3 \text{ MPa}$ [SNI 03-2847-2013 pasal 11.1.2]

$$\sqrt{f_c'} < 8,3$$

$$\sqrt{25} < 8,3$$

$$5 < 8,3 \text{ (memenuhi)}$$

Kuat geser beton

(SNI 03-2847-2002 pasal 13.3.1.1)

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{25 \text{ N/mm}^2} \cdot 200 \text{ mm} \cdot 242,5 \text{ mm} \\ &= 40.416,7 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat Geser Tulangan Geser

$$\begin{aligned} V_{s_{\min}} &= \frac{1}{3} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{1}{3} \cdot 200 \text{ mm} \cdot 242,5 \text{ mm} \\ &= 16.166,7 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s_{\max}} &= \frac{1}{3} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{1}{3} \cdot \sqrt{25 \text{ N/mm}^2} \cdot 200 \text{ mm} \cdot 242,5 \text{ mm} \\ &= 80.833,3 \text{ N} \end{aligned}$$

$$2 \cdot V_{s_{\max}} = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d$$

$$= \frac{2}{3} \cdot \sqrt{25 \text{ N/mm}^2} \cdot 200 \text{ mm} \cdot 242,5 \text{ mm}$$

$$= 161.666,7 \text{ N}$$

Gaya geser pada ujung perletakan diperoleh dari :

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{L_n} + \frac{W_u \times L_n}{2}$$

$$= \frac{M_{nl} + M_{nr}}{L_n} + V_u$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.6.2)

Dimana :

V_{u1} = Gaya geser pada muka perletakan

M_{nl} = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

M_{nr} = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

L_n = Panjang balok bersih

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{L_n} + V_{u \text{ tumpuan}}$$

$$= \frac{85766783,64 \text{ Nmm} + 48930040,91 \text{ Nmm}}{2500 \text{ mm}} + 9.493,84 \text{ N}$$

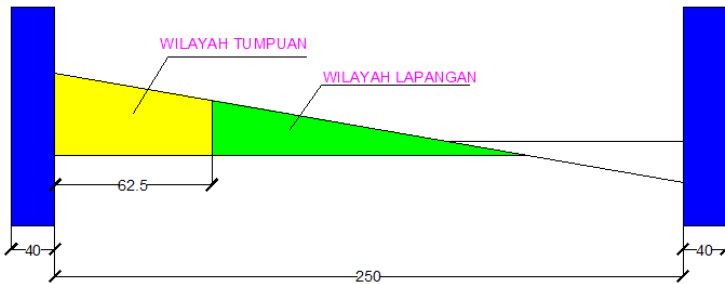
$$= 63.672,6 \text{ N}$$

Pembagian Wilayah Geser Balok

Wilayah balok dibagi menjadi 2 wilayah, yaitu :

Wilayah tumpuan seperempat bentang bersih balok dari muka kolom.

Wilayah lapangan dimulai dari akhir wilayah tumpuan sampai ke tengah bentang balok



Gambar 4. 22. Diagram gaya geser pada balok

Penulangan Geser Balok

Pada wilayah tumpuan

$$V_{ul} = 63.672,6 \text{ N}$$

Cek kondisi :

Kondisi 1

$V_u \leq 0,5 \cdot \phi \cdot V_c \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser

$$63.672,6 \text{ N} \leq 0,5 \cdot 0,75 \cdot 40.416,7 \text{ N}$$

$$63.672,6 \text{ N} \leq 15.156,25 \text{ N} \quad (\text{Tidak Memenuhi})$$

Kondisi 2

$0,5 \cdot \phi \cdot V_c \leq V_u \leq \phi \cdot V_c \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser

$$0,5 \cdot 0,75 \cdot 40.416,7 \text{ N} \leq 63.672,6 \text{ N} \leq 0,75 \cdot 40.416,7 \text{ N}$$

$$15.156,25 \text{ N} \leq 63.672,6 \text{ N} \leq 30.312,5 \text{ N} \quad (\text{Tidak Memenuhi})$$

Kondisi 3

$\phi \cdot V_c \leq V_u \leq \phi \cdot (V_c + V_{smin}) \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser

$$0,75 \cdot 40.416,7 \text{ N} \leq 63.672,6 \text{ N} \leq 0,75 \cdot (40.416,7 \text{ N} + 16.166,7 \text{ N})$$

$$30.312,5 \text{ N} \leq 63.672,6 \text{ N} \leq 42.437,5 \text{ N} \quad (\text{Tidak}$$

Memenuhi)

Kondisi 4

$\phi \cdot (V_c + V_{smin}) \leq V_u \leq \phi \cdot (V_c + V_{smax}) \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser

$$\begin{aligned}
0,75 \cdot (40416,7N + 16.166,7 \text{ N}) &\leq 63.672,6N \leq \\
0,75 \cdot (40.416,7N + 80.833,3 \text{ N}) & \\
42.437,5 \text{ N} \leq 63.672,6 \text{ N} \leq 90.937,5 \text{ N}
\end{aligned}$$

(Memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan Kondisi 4

$$\begin{aligned}
V_{S_{\text{perlu}}} &= \frac{V_u - (\varphi \cdot V_c)}{\varphi} \\
&= \frac{63672,6 - (0,75 - 40416,7)}{0,75} \\
&= 44.080,1 \text{ N}
\end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø8 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned}
A_v &= (0,25 \cdot \pi \cdot d^2) \cdot n \text{ buah} \\
&= (0,25 \cdot \pi \cdot (8 \text{ mm})^2) \cdot 2 \\
&= 100,48 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{perlu})

$$\begin{aligned}
S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_{S_{\text{perlu}}}} \\
&= \frac{100,48 \text{ mm}^2 \cdot \frac{240 \text{ N}}{\text{mm}^2} \cdot 242,5 \text{ mm}}{44080,1 \text{ mm}} \\
&= 132,67 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Berdasarkan Kondisi 3

$$\begin{aligned}
S_{\text{maks}} &\leq \frac{d}{2} \\
132,67 \text{ mm} &\leq \frac{242,5 \text{ mm}}{2} \\
132,67 \text{ mm} &\leq 121,25 \text{ mm} \quad (\text{tidak memenuhi})
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S_{\text{maks}} &\leq 600 \text{ mm} \\
132,67 \text{ mm} &\leq 600 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})
\end{aligned}$$

Sengkang harus dispasikan tidak lebih dari $d/2$ sepanjang balok.
(SNI 03-2847-2013 Pasal 23.3.4.3)

Dipakai tulangan geser $\varnothing 8 - 60 \text{ mm}$

Cek Persyaratan SRPMM untuk Kekuatan Geser Balok

Cek persyaratan berdasarkan (SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.2) pada kedua ujung komponen harus dipasang sengkang sepanjang panjang tidak kurang dari $2h$ diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama harus ditempatkan pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu.

Seperempat tinggi efektif

$$S_o \leq d/4$$

$$60 \text{ mm} \leq 242,5 \text{ mm}/4$$

$$60 \text{ mm} \leq 60,625 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil,

$$S_o \leq 8 \cdot D \text{ lentur}$$

$$60 \text{ mm} \leq 8 \cdot 19 \text{ mm}$$

$$60 \text{ mm} \leq 152 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

24 kali diameter sengkang,

$$S_o \leq 24 \cdot \varnothing \text{ sengkang}$$

$$60 \text{ mm} \leq 24 \cdot 8 \text{ mm}$$

$$60 \text{ mm} \leq 192 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$S_o \leq 300 \text{ mm}$$

$$60 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol syarat penulangan geser memenuhi, maka S_{pakai} menggunakan jarak $60,625 \text{ mm} \approx 60 \text{ mm}$.

Sehingga dipasang $\varnothing 8 - 60 \text{ mm}$ dengan sengkang 2 kaki.

Pada wilayah lapangan

$$\begin{aligned}
 V_{u2} &= \frac{V_{u1} \cdot \left(\frac{1}{2}Ln - 2h\right)}{\frac{1}{2}Ln} \\
 &= \frac{63.672,6 \text{ N} \cdot \left(\left(\frac{1}{2} \cdot 2500 \text{ mm}\right) - 2 \cdot 300 \text{ mm}\right)}{\frac{1}{2} \cdot 2500 \text{ mm}} \\
 &= 32.953,7 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cek kondisi :

Kondisi 1

$V_u \leq 0,5 \cdot \emptyset \cdot V_c \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser

$$32.953,7 \text{ N} \leq 0,5 \cdot 0,75 \cdot 40.416,7 \text{ N}$$

$$32.953,7 \text{ N} \leq 15.156,25 \text{ N} \quad (\text{tidak memenuhi})$$

Kondisi 2

$0,5 \cdot \emptyset \cdot V_c \leq V_u \leq \emptyset \cdot V_c \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser

$$0,5 \cdot 0,75 \cdot 40.416,7 \text{ N} \leq 32.953,7 \text{ N} \leq 0,75 \cdot 40.416,7 \text{ N}$$

$$15.156,25 \text{ N} \leq 32.953,7 \text{ N} \leq 30.312,5 \text{ N}$$

(tidak memenuhi)

Kondisi 3

$\emptyset \cdot V_c \leq V_u \leq \emptyset \cdot (V_c + V_{smin}) \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser

$$0,75 \cdot 40.416,7 \text{ N} \leq 32.953,7 \text{ N} \leq 0,75 \cdot (40.416,7 \text{ N} + 16.166,7 \text{ N})$$

$$30.312,5 \text{ N} \leq 32.953,7 \text{ N} \leq 42.437,5 \text{ N}$$

(memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser kolom diambil berdasarkan Kondisi 3 yaitu tulangan geser minimum

$$\begin{aligned}
 V_{s\text{perlu}} &= \frac{1}{3} \cdot b \cdot d \\
 &= \frac{1}{3} \cdot 200 \text{ mm} \cdot 242,5 \text{ mm} \\
 &= 16.166,7 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø8 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$A_v = (0,25 \cdot \pi \cdot d^2) \cdot n \text{ buah}$$

$$\begin{aligned}
 &= (0,25 \cdot \pi \cdot (8 \text{ mm})^2) \cdot 2 \\
 &= 100,48 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{perlu})

$$\begin{aligned}
 S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot 3}{b} \\
 &= \frac{100,48 \text{ mm}^2 \cdot 240 \text{ N/mm}^2 \cdot 3}{200 \text{ mm}} \\
 &= 361,73 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Berdasarkan Kondisi 2

$$\begin{aligned}
 S_{\text{maks}} &\leq \frac{d}{2} \\
 361,73 \text{ mm} &\leq \frac{242,5 \text{ mm}}{2} \\
 361,73 \text{ mm} &\leq 121,25 \text{ mm} \quad (\text{tidak memenuhi})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{maks}} &\leq 600 \text{ mm} \\
 361,73 \text{ mm} &\leq 600 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Senggang harus dispasikan tidak lebih dari $d/2$ sepanjang balok.

(SNI 03-2847-2013 Pasal 23.3.4.3)

Dipakai tulangan geser Ø8 – 120 mm

Cek Persyaratan SRPMM untuk Kekuatan Geser Balok

Cek persyaratan berdasarkan **(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.2)**

pada kedua ujung komponen harus dipasang sengkang sepanjang panjang tidak kurang dari $2h$ diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama harus ditempatkan pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu.

Seperempat tinggi efektif

$$\begin{aligned}
 S_o &\leq d/4 \\
 120 \text{ mm} &\leq 242,5 \text{ mm}/4 \\
 80 \text{ mm} &\leq 60,625 \text{ mm} \quad (\text{tidak memenuhi})
 \end{aligned}$$

Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil,

$$S_o \leq 8 \cdot D \text{ lentur}$$

$$120 \text{ mm} \leq 8 \cdot 19 \text{ mm}$$

$$120 \text{ mm} \leq 152 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

24 kali diameter sengkang,

$$S_o \leq 24 \cdot \emptyset \text{ sengkang}$$

$$120 \text{ mm} \leq 24 \cdot 8 \text{ mm}$$

$$120 \text{ mm} \leq 192 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$S_o \leq 300 \text{ mm}$$

$$120 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol syarat penulangan geser tidak memenuhi, maka S_{pakai} menggunakan jarak minimum kontrol yaitu $121,25 \text{ mm} \approx 120 \text{ mm}$.

Sehingga dipasang $\emptyset 8$ -120 mm dengan sengkang 2 kaki.

4.5.2.4. PANJANG PENYALURAN TUL. BALOK

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan. Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan ***SNI 03-2847-2013 pasal 12***.

Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tarik

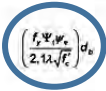
Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan
(***SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.2***.)

Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm.

(***SNI 03-2847-2002 Pasal 12.2.1***)

Untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dapat dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.2** sebagai berikut :

Tabel 4. 7. Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir

	Batang tulangan atau kawat ulir D-19 dan yang lebih kecil	Batang tulangan D-22 dan yang lebih besar
Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari d_b , selimut bersih tidak kurang dari d_b , dan sengkang atau pengikat sepanjang ℓ_d tidak kurang dari minimum Tata Cara atau Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut bersih tidak kurang dari d_b		$\left(\frac{f_y \cdot \psi_t \cdot \psi_e}{1.7 \lambda \cdot \sqrt{f_c'}} \right) d_b$
Kasus-kasus lain	$\left(\frac{f_y \cdot \psi_t \cdot \psi_e}{1.4 \lambda \cdot \sqrt{f_c'}} \right) d_b$	$\left(\frac{f_y \cdot \psi_t \cdot \psi_e}{1.1 \lambda \cdot \sqrt{f_c'}} \right) d_b$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.2)

Dimana :

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$\psi_t = 1,3$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.4.a)

$$\psi_e = 0,8$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.4.c)

$$\lambda = 1 \text{ (beton normal)}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.4.d)

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$d_b = 19 \text{ mm}$$

$$\left(\frac{f_y \cdot \psi_t \cdot \psi_e}{2.1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'}} \right) = \frac{\lambda d}{d_b} \geq 300 \text{ mm}$$

$$\left(\frac{400 \cdot 1.3 \cdot 0.8}{2.1 \cdot 1 \cdot \sqrt{25}} \right) = \frac{\lambda d}{19 \text{ mm}} \geq 300 \text{ mm}$$

$$\lambda_d = 752,8 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$A_{S\text{perlu}} = 447,57 \text{ mm}^2$$

$$A_{S\text{pasang}} = 566,77 \text{ mm}^2$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\lambda_{d \text{ reduksi}} = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ terpasang}} \cdot \lambda_d$$

$$\lambda_{d \text{ reduksi}} = \frac{447,57 \text{ mm}^2}{566,77 \text{ mm}^2} \times 752,8 \text{ mm}$$

$$= 594,45 \text{ mm} \approx 600 \text{ mm}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 600 mm

Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tekan

Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3**

Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan tidak boleh kurang dari 200 mm.

(SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.1)

$$\left(\frac{0,24 \cdot f_y}{\lambda \cdot \sqrt{f_c}} \right) = \frac{\lambda_d}{d_b} \geq 200 \text{ mm}$$

$$\left(\frac{0,24 \cdot 400}{1 \cdot \sqrt{25}} \right) = \frac{\lambda_d}{19 \text{ mm}} \geq 200 \text{ mm}$$

$$\lambda_d = 364,8 \text{ mm} \geq 200 \text{ mm (memenuhi)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} = 447,57 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ pasang}} = 566,77 \text{ mm}^2$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\lambda_{d \text{ reduksi}} = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ terpasang}} \times \lambda_d$$

$$= \frac{447,57 \text{ mm}^2}{566,77 \text{ mm}^2} \times 364,8 \text{ mm}$$

$$= 288,1 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan 300 mm.

Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tarik

Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5**

Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 150 mm.

(SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5.1)

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$\psi_e = 1,2$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5.2.)

$$\lambda = 0,75 \text{ (beton normal)}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5.2.)

$$\left(\frac{0,24 \cdot \psi_e \cdot f_y}{\lambda \cdot \sqrt{f'_{cr}}} \right) = \frac{\lambda d}{db} \geq 150 \text{ mm}$$

$$\left(\frac{0,24 \cdot 1,2 \cdot 400}{0,75 \cdot \sqrt{25}} \right) = \frac{\lambda d}{19 \text{ mm}} \geq 150 \text{ mm}$$

$$\lambda d = 583,68 \text{ mm} \geq 150 \text{ mm (memenuhi)}$$

$$A_{s\text{perlu}} = 447,57 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{pasang}} = 566,77 \text{ mm}^2$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned} \lambda_{d\text{reduksi}} &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s\text{terpasang}}} \times \lambda_{hb} \\ &= \frac{447,57 \text{ mm}^2}{566,77 \text{ mm}^2} \times 583,68 \text{ mm} \\ &= 460,9 \text{ mm} \approx 465 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik 465 mm.

Untuk panjang kait dengan D19 ditambah perpanjangan $12d_b$ pada penulangan sloof

(SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5.1)

$$12d_b = 12 \cdot 19 \text{ mm}$$

$$= 228 \text{ mm}$$

4.5.2.5. KONTROL RETAK

Bila tegangan leleh rencana f_y untuk tulangan tarik melebihi 300 MPa, maka penampang dengan momen positif dan negatif maksimum harus dirancang sedemikian hingga nilai:

$$z = f_s \cdot \sqrt[3]{d_c A} < 30 \text{ MN/mm}^2$$

(untuk penampang di dalam ruangan)

$$z = f_s \cdot \sqrt[3]{d_c A} < 25 \text{ MN/mm}^2$$

(untuk penampang yang dipengaruhi cuaca luar)
(SNI 03-2847-2002 Pasal 12.6.4)

$$\begin{aligned} d_c &= \text{decking} + (0,5 \cdot D \text{ lentur}) \\ &= 40 \text{ mm} + (0,5 \cdot 19 \text{ mm}) \\ &= 49,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A &= \frac{2d_c \cdot b_w}{n}, \text{ dengan } n \text{ adalah jumlah tulangan} \\ &= \frac{2 \cdot 49,5 \text{ mm} \cdot 200 \text{ mm}}{4} \\ &= 4950 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} z &= f_s \cdot \sqrt[3]{d_c A} \\ z &= 0,6 f_s \cdot \sqrt[3]{d_c A} \\ &= 0,6 \cdot 400 \text{ N/mm}^2 \cdot \sqrt[3]{49,5 \text{ mm} \cdot 4950 \text{ mm}^2} \\ &= 15017 \text{ N/mm} \\ &= 15,02 \text{ MN/mm} < 30 \text{ MN/mm} \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Sebagai alternative terhadap perhitungan nilai z , dapat dilakukan dengan perhitungan lebar retak yang diberikan oleh :

$$\begin{aligned} \omega &= 11 \cdot 10^{-6} \cdot \beta \cdot f_s \cdot \sqrt[3]{d_c A} \\ &= 11 \cdot 10^{-6} \cdot 0,85 \cdot 400 \text{ /mm}^2 \cdot \sqrt[3]{49,5 \text{ mm} \cdot 4950 \text{ mm}^2} \\ &= 0,234 \text{ mm} < 0,4 \text{ mm} \quad \text{(memenuhi)} \end{aligned}$$

Nilai lebar retak yang diperoleh tidak boleh melebihi 0,4 mm untuk penampang didalam ruangan dan 0,3 mm untuk penampang yang dipengaruhi cuaca luar, dimana $\beta = 0,85$ untuk $f_c' \leq 30$ MPa.

Jadi penulangan Balok Induk B2 (20/30), As 2,D-E elevasi + 1,84 adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 8. Penulangan Balok Induk Arah X

PENULANGAN BALOK INDUK ARAH X				
	KOMBINASI	BALOK INDUK ARAH X		
Tulangan Torsi		4	D16	
Tulangan Lentur Tumpuan Kiri	1.2D + 1L + 0.3Ex + 1Ey			
Tulangan Tarik		3	D19	
Tulangan Tekan		2	D19	
Tulangan Lentur Tumpuan Kanan	1.2D + 1L + 0.3Ex + 1Ey			
Tulangan Tarik		2	D19	
Tulangan Tekan		2	D19	
Tulangan Lentur Lapangan	1.2D + 1L + 0.3Ex + 1Ey			
Tulangan Tarik		2	D19	
Tulangan Tekan		2	D19	
Tulangan Geser	1.2D + 1L			
Wilayah Tumpuan		Ø8 -	60	
Wilayah Lapangan		Ø8 -	120	

Panjang Penyaluran				
Penyaluran Tarik		600	mm	
Penyaluran Tekan		300	mm	
Penyaluran Berkait Tarik		465	mm	
Penyaluran Kait	12 . db	228	≈	230 mm
Kontrol Retak	0.234	<	0.4	MEMENUH I

4.5.3. PERHITUNGAN BALOK ANAK (ARAH X)

Perhitungan tulangan balok B3 (20/25) . Berikut data-data perencanaan balok, gambar denah pembalokan, hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000, ketentuan perhitungan penulangan balok dengan metode SRPMM, perhitungan serta hasil akhir gambar penampang balok adalah sebagai berikut :

- Data-data perencanaan tulangan balok :

Tipe balok	: B3 (20/25)
As balok	: 1', B-C
Bentang balok (L balok)	: 4000 mm
Lebar balok (b balok)	: 300 mm
Tinggi balok (h balok)	: 400 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 25 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	: 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	: 240 MPa
Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt})	: 400 MPa
Diameter tulangan lentur (D lentur)	: 19 mm
Diameter tulangan geser (\emptyset geser)	: 8 mm
Diameter tulangan puntir (\emptyset puntir)	: 10 mm
Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar)	: 25 mm

(SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.2)

Tebal selimut beton (t decking)	: 40 mm
---------------------------------	---------

(SNI 03-2847-2002 pasal 7.7.1.c)

Faktor β_1	: 0,85
------------------	--------

(SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.3)

Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ)	: 0,8
---	-------

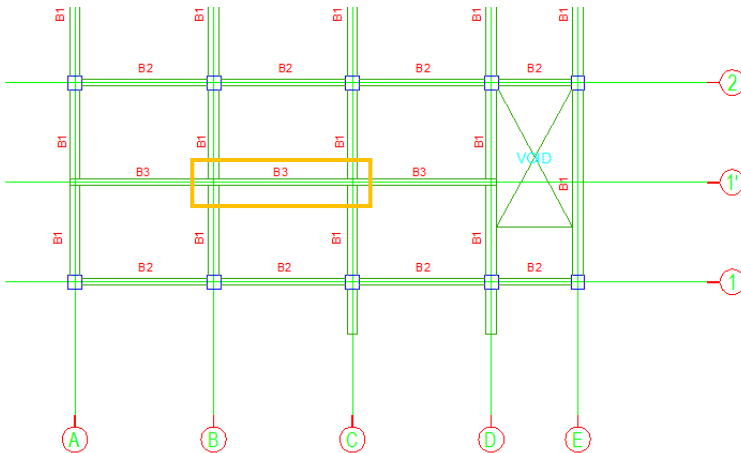
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.7.a)

Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	: 0,75
--	--------

(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3)

Faktor reduksi kekuatan puntir (ϕ)	: 0,75
---	--------

(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3)

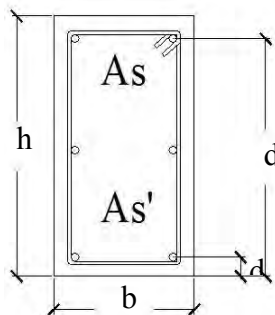


Gambar 4. 23. Denah Balok yang Ditinjau

Maka, tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned} d &= h - \text{decking} - \varnothing \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \varnothing \text{ tul lentur} \\ &= 250 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 8 \text{ mm} - (\frac{1}{2} \cdot 19 \text{ mm}) \\ &= 192,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \varnothing \text{ sengkang} + \frac{1}{2} \varnothing \text{ tul lentur} \\ &= 40 \text{ mm} + 8 \text{ mm} + (\frac{1}{2} \cdot 19 \text{ mm}) \\ &= 57,5 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar 4. 24. Luasan Acp dan Pcp

Hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 :

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu SAP 2000, maka didapatkan hasil output dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulangan balok.

Adapun dalam pengambilan hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan yang digunakan terdiri dari kombinasi beban gravitasi dan kombinasi beban gempa.

Kombinasi Beban Gravitasi :

- Pembebanan akibat beban mati dan beban hidup.

$$U = 1,4 D$$

$$U = 1,2 D + 1,6 L$$

$$U = 1,2D + 1 L$$

Kombinasi Beban Gempa :

- Pembebanan akibat beban gravitasi dan beban gempa positif searah sumbu X.

$$U = 1,2 D + 1 L + 1 EQX + 0,3 EQY$$

$$U = 0,9 D + 1 EQX$$

$$U = 0,9 D + 1 EQY$$

Untuk perhitungan tulangan torsi, lentur, dan geser pada balok maka diambil momen yang terbesar dari kombinasi $U = 1,2 D + 1 L + 1 EQX + 0,3 EQY$.

Hasil Output Diagram Torsi

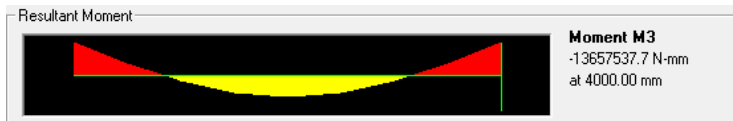
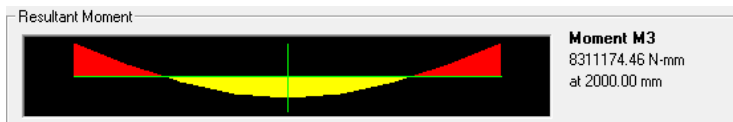
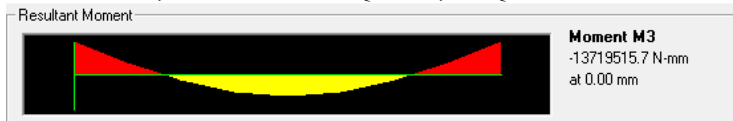
Kombinasi $1,2 D + 1 L + 1 EQX + 0,3 EQY$



Momen torsi : 22.456,11 N.mm

Hasil Output Diagram Momen Lentur

Kombinasi 1,2 D + 1 L + 1 EQX + 0,3 EQY



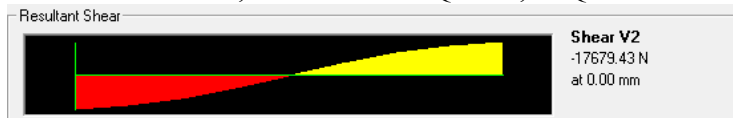
Akibat kombinasi 1,2 D + 1 L + 1 EQX + 0,3 EQY

Momen tumpuan kiri : 13.719.515,7 N.mm

Momen lapangan : 8.311.174,46 N.mm

Momen tumpuan kanan : 13.657.537,7 N.mm

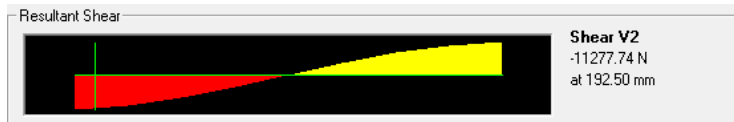
Akibat kombinasi 1,2 D + 1 L + 1 EQX + 0,3 EQY



Gaya terfaktor $V_u = 17.679,43$ N

Hasil Output Diagram Gaya Geser

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1,2D + 1L, dari analisa SAP2000 didapatkan :

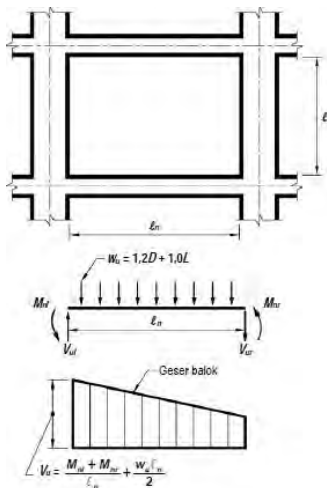


Gaya geser terfaktor $V_u = 11.277,74 \text{ N}$

(Dimana V_u diambil sejarak $d = 192,5 \text{ mm}$)

(SNI 03-2847-2013 pasal 11.1.3.1)

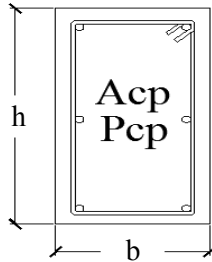
Berdasarkan SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4 mengenai Ketentuan perhitungan penulangan balok dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).



Gambar 4. 25. Gaya Geser Rencana Komponen Balok pada SRPMM

Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser lentur dan puntir

Ukuran penampang balok yang dipakai = 20/25



Gambar 4. 26.Luasan Acp dan Pcp

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{\text{balok}} \cdot h_{\text{balok}} \\ &= 200 \text{ mm} \cdot 250 \text{ mm} \\ &= 50.000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Parimeter luar irisan penampang beton Acp

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \cdot (b_{\text{balok}} + h_{\text{balok}}) \\ &= 2 \cdot (200 \text{ mm} + 250 \text{ mm}) \\ &= 900 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) \cdot (h_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) \\ &= (200 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - 8 \text{ mm}) \\ &\quad \cdot (250 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - 8 \text{ mm}) \\ &= 112 \text{ mm} \times 162 \text{ mm} \\ &= 18.144 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$P_h = 2 \cdot [(b_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) + (h_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}})]$$

$$\begin{aligned}
&= 2 \cdot [(200 \text{ mm} - (2.40 \text{ mm}) - 8 \text{ mm}) \\
&\quad + (250 \text{ mm} - (2.40 \text{ mm}) - 8 \text{ mm})] \\
&= 2 \cdot [112 \text{ mm} + 162 \text{ mm}] \\
&= 2 \cdot 274 \text{ mm} \\
&= 548 \text{ mm}
\end{aligned}$$

4.5.3.1. PERHITUNGAN PENULANGAN PUNTIR

Berdasarkan hasil out put diagram torsi pada SAP diperoleh momen puntir terbesar :

Momen Puntir Ultimate

Akibat Kombinasi 1,2 D + 1 L + 1 EQX + 0,3 EQY

$$Tu = 22.456,11 \text{ N.mm}$$

Momen Puntir Nominal

$$\begin{aligned}
T_n &= \frac{T_u}{\phi} \\
&= \frac{22456,11 \text{ N.mm}}{0.75} \\
&= 29.941,48 \text{ N.mm}
\end{aligned}$$

Gaya terfaktor Vu Ultimate

Akibat kombinasi 1,2 D + 1 L + 1 EQX + 0,3 EQY

$$Vu = 17.679,43 \text{ N}$$

Pengaruh puntir dapat di abaikan bila momen puntir terfaktor Tu besarnya kurang daripada :

$$\text{nilai } \lambda = 0,75$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 8.6.1)

$$Tu_{\min} = \phi 0,083 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} \cdot \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.1.a)

$$\begin{aligned}
&= 0,75 \cdot 0,083 \cdot 0,75 \cdot \sqrt{25 \text{ N/mm}^2} \cdot \left(\frac{(50000 \text{ mm}^2)^2}{900 \text{ mm}} \right) \\
&= 648.437,5 \text{ N.mm}
\end{aligned}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

$T_u < T_{u_{min}}$ maka tulangan puntir di abaikan.

$T_u > T_{u_{min}}$ maka memerlukan tulangan puntir.

$$T_u = 22.456,11 \text{ N.mm} < T_{u_{min}} = 648.437,5 \text{ Nmm}$$

Maka tulangan puntir di abaikan

Kuat geser yang disumbangkan oleh beton untuk komponen struktur non-prategang berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 11.2.1.1 adalah :

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f'c'} \times b_w \times d \\ &= 0,17 \times 0,75 \times \sqrt{25 \text{ N/mm}^2} \times 200 \text{ mm} \times 192,5 \text{ mm} \\ &= 24.543,75 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek Kecukupan Penampang Menahan Momen Puntir

Sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.5.3 kekuatan momen torsi harus memenuhi ketentuan sebagai berikut

$$\begin{aligned} \sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1,7 A^2 o h}\right)^2} &\leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d}\right) + 0,66 \sqrt{f'c'} \\ \sqrt{\left(\frac{17679,43}{200 \text{ mm} \cdot 192,5 \text{ mm}}\right)^2 + \left(\frac{22456,11 \text{ N.mm} \cdot 548 \text{ mm}}{1,7 \cdot 18144 \text{ mm}^2}\right)^2} &\leq \\ \phi \left(\frac{24543,75 \text{ N}}{200 \text{ mm} \cdot 192,5 \text{ mm}}\right) + 0,66 \sqrt{25 \text{ N/mm}^2} & \end{aligned}$$

$$0,46 \leq 2,95 \quad (\text{memenuhi})$$

Untuk beton non-prategang

$$\theta = 45^\circ$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3.5.a)

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \cdot A_o \cdot f_y \cdot \cot \theta}$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{29941,48 \text{ N.mm}}{2 \cdot (15422,4 \text{ mm}^2 \cdot 0.85) \cdot 240 \text{ MPa} \cdot 45}$$

$$\frac{A_t}{s} = 0.0066$$

Luas tulangan longitudinal tambahan untuk menahan torsi A_t , harus sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.7.

$$\begin{aligned} A_t &= \frac{A_t}{s} p_h \cdot \frac{f_{yt}}{f_y} \cdot \cot^2 \theta \\ &= 0.0066 \cdot 548 \text{ mm} \cdot \frac{240}{400} \cdot 45^\circ \\ &= 0,82 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.3 tulangan torsi longitudinal minimum harus dihitung dengan ketentuan.

$$\begin{aligned} A_{t \min} &= \frac{0,42 \cdot \sqrt{f'c} A_{cp}}{f_y} - \frac{A_t}{s} p_h \cdot \frac{f_{yt}}{f_y} \\ &= \frac{0,42 \cdot \sqrt{25 \text{ N/mm}^2} \cdot 50.000 \text{ mm}^2}{400} - 0,007 \cdot 548 \text{ mm} \cdot \frac{240}{400} \\ &= 260,35 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$A_t \leq A_{t \min} \quad \text{maka gunakan } A_{t \min}$$

$$A_t \geq A_{t \min} \quad \text{maka gunakan } A_t$$

$$\begin{aligned} A_t &< A_{t \min} \\ 0,82 \text{ mm}^2 &< 260,35 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan yang terbesar, $A_t \min 260,35 \text{ mm}^2$

4.5.3.2. PENULANGAN LENTUR BALOK

Garis netral dalam kondisi balance

$$X_b = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{600}{600+400} \cdot 192,5 \text{ mm} \\
 &= 115,5 \text{ mm} \\
 &\quad \text{(SNI 03-2847-2002, Pasal 12.2.2)}
 \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned}
 X_{\max} &= 0,75 \cdot X_{\text{balance}} \\
 &= 0,75 \cdot 115,5 \text{ mm} \\
 &= 86,625 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned}
 X_{\min} &= d' \\
 &= 57,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 75 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{\text{rencana}} \\
 &= 0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2 \cdot 200 \text{ mm} \cdot 0,85 \cdot 75 \text{ mm} \\
 &= 270.937,5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Luas tulangan lentur gaya tarik tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 A_{sc} &= \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{\text{rencana}}}{f_y} \\
 &= \frac{0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2 \cdot 200 \text{ mm} \cdot 0,85 \cdot 75 \text{ mm}}{400 \text{ N/mm}^2} \\
 &= 677,34 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= A_{sc} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{\beta_1 \cdot X_{rencana}}{2} \right) \\
 &= 677,34 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2 \cdot \left(192,5 \text{ mm} - \frac{0,85 \cdot 75 \text{ mm}}{2} \right) \\
 &= 43.519.336 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

❖ Daerah Tumpuan Kiri

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :

$$1,2 D + 1 L + 1 EQX + 0,3 EQY$$

$$M_{u_{tumpuan}} = 13.719.515,7 \text{ N.mm}$$

Momen lentur nominal (M_n)

$$M_n = \frac{M_{u_{tumpuan}}}{\phi}$$

$$M_n = \frac{13719515,7 \text{ N.mm}}{0,80}$$

$$M_n = 17.149.394,63 \text{ N. mm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} \geq 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\
 &= 17.149.394,63 \text{ N. mm} - 43.519.336 \text{ N.mm} \\
 &= -26.369.941,63 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Maka,

$$M_{ns} = -26.369.941,63 \text{ N.mm} < 0$$

Maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

- Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} \\ &= \frac{17149394,63 \text{ N.mm}}{200 \text{ mm} \cdot (192,5 \text{ mm})^2} \\ &= 2,31 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{F_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400 \text{ MPa}} \right) \\ &= 0,0325 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\ &= 0,75 \cdot 0,0325 \\ &= 0,024 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \\ &= \frac{400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2} \\ &= 18,82 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{18,82} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,82 \cdot 2,31 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}} \right] \end{aligned}$$

$$= 0,0061$$

$$\begin{array}{lcl} \rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \\ 0,0035 < 0,0061 < 0,024 & \text{(memenuhi)} \end{array}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d \\ &= 0,0061 \cdot 200 \text{ mm} \cdot 192,5 \text{ mm} \\ &= 236,38 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan lentur} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= 0,25 \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2 \\ &= 283,38 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur + luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur

Jumlah tulangan pasang :

- Luasan tulangan perlu lentur tarik+ luasan tambahan puntir longitudinal sisi atas balok :

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\ &= 236,38 \text{ mm}^2 + \frac{260,35 \text{ mm}^2}{4} \\ &= 301,47 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan pasang lentur tarik

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{\text{Luas tulangan lentur}} = \frac{301,47 \text{ mm}^2}{283,38 \text{ mm}^2} \\ &= 1,06 \text{ buah} \approx \mathbf{2 \text{ buah}} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 2D19

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \cdot \text{luas tulangan letur} \\ &= 2 \cdot 283,38 \text{ mm}^2 \\ &= 566,77 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$A_{s_{pasang}} = 566,77 \text{ mm}^2 > A_{s_{perlu}} = 301,47 \text{ mm}^2$$

(memenuhi)

- Luasan tulangan perlu tekan + luasan tambahan puntir longitudinal sisi bawah balok :

$$\begin{aligned} A_{s'} \text{ perlu} &= A_{s'} + \frac{A_l}{4} \\ &= 0 + \frac{260,35 \text{ mm}^2}{4} \\ &= 65,09 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan pasang lentur tekan

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{s'} \text{ perlu}}{\text{Luas tulangan lentur}} = \frac{65,09 \text{ mm}^2}{283,38 \text{ mm}^2} \\ &= 0,23 \text{ buah} \approx \mathbf{2 \text{ buah}} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 2D19

$$\begin{aligned} A_{s'} \text{ pasang} &= n \cdot \text{luas tulangan lentur} \\ &= 2 \cdot 283,38 \text{ mm}^2 \\ &= 566,77 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$A_{s'} \text{ pasang} = 566,77 \text{ mm}^2 > A_{s'} \text{ perlu} = 65,09 \text{ mm}^2$$

(memenuhi)

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan tulangan tarik 1 lapis 2D19 dan tulangan tekan 1 lapis 2D19

- **Kontrol Tulangan Tarik**

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \cdot t_{decking}) - (2 \cdot \phi_{geser}) - (jml \text{ tul} \cdot D_{lentur})}{jumlah \text{ tulangan} - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{200 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - (2 \cdot 8 \text{ mm}) - (2 \cdot 19 \text{ mm})}{2 - 1}$$

$$S_{maks} = 66 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{maks} = 66 \text{ mm} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} (\text{memenuhi})$$

- **Kontrol Tulangan Tekan**

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \cdot t_{decking}) - (2 \cdot \phi_{geser}) - (jml \text{ tul} \cdot D_{lentur})}{jumlah \text{ tulangan} - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{200 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - (2 \cdot 8 \text{ mm}) - (2 \cdot 19 \text{ mm})}{2 - 1}$$

$$S_{maks} = 66 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{maks} = 66 \text{ mm} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} (\text{memenuhi})$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negative maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut.

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= 2 \text{ D19} \\ &= 2 \cdot 0,25 \cdot 3,14 \cdot (19 \text{ mm})^2 \\ &= 566,77 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'_{\text{pasang}}} &= 2 \text{ D19} \\ &= 2 \cdot 0,25 \cdot 3,14 \cdot (19 \text{ mm})^2 \\ &= 566,77 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} \cdot M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$566,77 \text{ mm}^2 \geq 188,92 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(memenuhi)}$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\begin{aligned} a &= \frac{(A_s \cdot f_y)}{(0,85 \cdot f_c' \cdot b)} \\ &= \frac{(566,77 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2)}{(0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2 \cdot 200 \text{ mm})} \\ &= 53,34 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \cdot d - \left(\frac{a}{2} \right) \\ &= 0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2 \cdot 53,34 \text{ mm} \cdot 200 \text{ mm} \\ &\quad \cdot \left(192,5 \text{ mm} - \left(\frac{53,34 \text{ mm}}{2} \right) \right) \\ &= 56.391.961,37 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned} \theta M_{n_{\text{pasang}}} &> M_u \\ 0,8 \cdot 56.391.961,37 \text{ N.mm} &> 13.719.515,7 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$45.113.569,09 \text{ N.mm} > 13.719.515,7 \text{ N.mm}$$

(memenuhi)

Jadi, penulangan lentur untuk balok B1 (20/25) As 1', B-C pada daerah tumpuan kiri dipakai tulangan tarik 2D19 dan tulangan tekan 2D19 dengan susunan sebagai berikut :

- Tulangan tarik 1 lapis
Lapis 1 : 2D19
- Tulangan Tekan 1 Lapis
Lapis 1 : 2D19

❖ Daerah Tumpuan Kanan

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} X_b &= \frac{600}{600 + f_y} \cdot d \\ &= \frac{600}{600 + 400} \cdot 192,5 \text{ mm} \\ &= 115,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

(SNI 03-2847-2002, Pasal 12.2.2)

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \cdot X_{\text{balance}} \\ &= 0,75 \cdot 115,5 \text{ mm} \\ &= 86,625 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 57,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 75 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{rencana} \\ &= 0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2 \cdot 200 \text{ mm} \cdot 0,85 \cdot 75 \text{ mm} \\ &= 270.937,5 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan lentur gaya tarik tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{rencana}}{f_y} \\ &= \frac{0,85 \cdot 25 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 200 \text{ mm} \cdot 0,85 \cdot 75 \text{ mm}}{400 \text{ N/mm}^2} \\ &= 677,34 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{\beta_1 \cdot X_{rencana}}{2} \right) \\ &= 677,34 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2 \cdot \left(192,5 \text{ mm} - \frac{0,85 \cdot 75 \text{ mm}}{2} \right) \\ &= 43.519.336 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :

$$1,2 \text{ D} + 1 \text{ L} + 1 \text{ EQX} + 0,3 \text{ EQY}$$

$$Mu_{tumpuan} = 13.657.537,7 \text{ N.mm}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$M_n = \frac{Mu_{tumpuan}}{\phi}$$

$$M_n = \frac{13657537,7 \text{ N.mm}}{0,80}$$

$$M_n = 17.071.922,13 \text{ N.mm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$= 17.071.922,13 \text{ N.mm} - 43.519.336 \text{ N.mm}$$

$$= -26.447.413,87 \text{ N.mm}$$

Maka,

$$M_{ns} = -26.447.413,87 \text{ N.mm} < 0$$

Maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

- Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} \\ &= \frac{17071922,13 \text{ N.mm}}{200 \text{ mm} \cdot (192,5 \text{ mm})^2} \\ &= 2,3 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{F_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400 \text{ MPa}} \right) \\ &= 0,0325 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\ &= 0,75 \cdot 0,0325 \\ &= 0,024 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} \\ &= \frac{400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2} \\ &= 18,82 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{18,82} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,82 \cdot 2,3 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}} \right] \\ &= 0,0061 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{ccccc} \rho_{\min} & < & \rho_{\text{perlu}} & < & \rho_{\max} \\ 0,0035 & < & 0,0061 & < & 0,024 \end{array} \quad (\text{tidak memenuhi})$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d \\ &= 0,0061 \cdot 200 \text{ mm} \cdot 192,5 \text{ mm} \\ &= 235,24 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan lentur} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= 0,25 \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2 \\ &= 283,38 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur + luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur

Jumlah tulangan pasang :

- Luasan tulangan perlu lentur tarik+ luasan tambahan puntir longitudinal sisi atas balok :

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\ &= 235,24 \text{ mm}^2 + \frac{260,35 \text{ mm}^2}{4} \end{aligned}$$

$$= 300,33 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan pasang lentur tarik

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luas \text{ tulangan lentur}} = \frac{300,33 \text{ mm}^2}{283,38 \text{ mm}^2} = 1,06 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan lentur 6D19

$$\begin{aligned} As_{\text{pasang}} &= n \cdot \text{luas tulangan letur} \\ &= 2 \cdot 283,38 \text{ mm}^2 \\ &= 566,77 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$As_{\text{pasang}} = 566,77 \text{ mm}^2 > As_{\text{perlu}} = 300,33 \text{ mm}^2$$

(memenuhi)

- Luasan tulangan perlu tekan + luasan tambahan puntir longitudinal sisi bawah balok :

$$\begin{aligned} As' \text{ perlu} &= As' + \frac{Al}{4} \\ &= 0 + \frac{260,35 \text{ mm}^2}{4} \\ &= 65,09 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan pasang lentur tekan

$$n = \frac{As' \text{ perlu}}{Luas \text{ tulangan lentur}} = \frac{65,09 \text{ mm}^2}{283,38 \text{ mm}^2} = 0,23 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan lentur 2D19

$$\begin{aligned} As'_{\text{pasang}} &= n \cdot \text{luas tulangan letur} \\ &= 2 \cdot 283,38 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$= 566,77 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$As'_{\text{pasang}} = 566,77 \text{ mm}^2 > As'_{\text{perlu}} = 65,09 \text{ mm}^2$$

(memenuhi)

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan tulangan tarik 1 lapis 6D19 dan tulangan tekan 1 lapis 2D19

- **Kontrol Tulangan Tarik**

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \cdot t_{\text{decking}}) - (2 \cdot \phi_{\text{geser}}) - (\text{jml tul} \cdot D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{200 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - (2 \cdot 8 \text{ mm}) - (2 \cdot 19 \text{ mm})}{2 - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = 66 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{\text{maks}} = 66 \text{ mm} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)}$$

- **Kontrol Tulangan Tekan**

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \cdot t_{\text{decking}}) - (2 \cdot \phi_{\text{geser}}) - (\text{jml tul} \cdot D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{200 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - (2 \cdot 8 \text{ mm}) - (2 \cdot 19 \text{ mm})}{2 - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = 66 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{\text{maks}} = 66 \text{ mm} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negative maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut.

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{s\text{pasang}} &= 2D19 \\ &= 2 \cdot 0,25 \cdot 3,14 \cdot (19 \text{ mm})^2 \\ &= 566,77 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'\text{pasang}} &= 2D19 \\ &= 2 \cdot 0,25 \cdot 3,14 \cdot (19 \text{ mm})^2 \\ &= 566,77 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} \cdot M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$566,77 \text{ mm}^2 \geq 188,92 \text{ mm}^2 \quad \text{(memenuhi)}$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\begin{aligned} a &= \frac{(A_s \cdot f_y)}{(0,85 \cdot f_c' \cdot b)} \\ &= \frac{(566,77 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2)}{(0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2 \cdot 200 \text{ mm})} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 53,34 \text{ mm} \\
 M_n &= 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \cdot d - \left(\frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2 \cdot 53,34 \text{ mm} \cdot 200 \text{ mm} \\
 &\quad \cdot \left(192,5 \text{ mm} - \left(\frac{53,34 \text{ mm}}{2} \right) \right) \\
 &= 56.391.961,37 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Maka,

$$\theta M_{n_{\text{pasang}}} > M_u$$

$$0,8 \cdot 56.391.961,37 \text{ N.mm} > 13.657.537,7 \text{ N.mm}$$

$$45.113.569,09 \text{ N.mm} > 13.657.537,7 \text{ N.mm}$$

(memenuhi)

Jadi, penulangan lentur untuk balok B3 (20/25) As 1',B-C pada daerah tumpuan kanan dipakai tulangan tarik 2D19 dan tulangan tekan 2D19 dengan susunan sebagai berikut :

- Tulangan Tarik 1 Lapis
Lapis 1 : 2D19
- Tulangan Tekan 1 Lapis
Lapis 1 : 2D19

❖ Daerah Lapangan

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned}
 X_b &= \frac{600}{600 + f_y} \cdot d \\
 &= \frac{600}{600 + 400} \cdot 192,5 \text{ mm} \\
 &= 115,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

(SNI 03-2847-2002, Pasal 12.2.2)

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned}
 X_{\max} &= 0,75 \cdot X_{\text{balance}} \\
 &= 0,75 \cdot 115,5 \text{ mm} \\
 &= 86,625 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned}
 X_{\min} &= d' \\
 &= 57,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 75 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{\text{rencana}} \\
 &= 0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2 \cdot 200 \text{ mm} \cdot 0,85 \cdot 75 \text{ mm} \\
 &= 270.937,5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Luas tulangan lentur gaya tarik tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 A_{sc} &= \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{\text{rencana}}}{f_y} \\
 &= \frac{0,85 \cdot 25 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 200 \text{ mm} \cdot 0,85 \cdot 75 \text{ mm}}{400 \text{ N/mm}^2} \\
 &= 677,34 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= A_{sc} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{\beta_1 \cdot X_{\text{rencana}}}{2} \right) \\
 &= 677,34 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2 \cdot \left(192,5 \text{ mm} - \frac{0,85 \cdot 75 \text{ mm}}{2} \right)
 \end{aligned}$$

$$= 43.519.336 \text{ N.mm}$$

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :

$$1,2 D + 1 L + 1 \text{ EQX} + 0,3 \text{ EQY}$$

$$Mu_{\text{lapangan}} = 8.311.174,46 \text{ N.mm}$$

Momen lentur nominal (M_n)

$$M_n = \frac{Mu_{\text{lapangan}}}{\phi}$$

$$M_n = \frac{8311174,46 \text{ N.mm}}{0,80}$$

$$M_n = 10.388.968,08 \text{ N.mm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$= 10.388.968,08 \text{ N.mm} - 43.519.336 \text{ N.mm}$$

$$= -33.130.367,86 \text{ N.mm}$$

Maka,

$$M_{ns} = -33.130.367,86 \text{ N.mm} < 0$$

Maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

- Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} \\ &= \frac{10388968,08 \text{ N.mm}}{200 \text{ mm} \cdot (192,5 \text{ mm})^2} \end{aligned}$$

$$= 1,4 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{F_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400 \text{ MPa}} \right) \\ &= 0,0325\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\ &= 0,75 \cdot 0,0325 \\ &= 0,024\end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned}m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \\ &= \frac{400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2} \\ &= 18,82\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{18,82} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,82 \cdot 1,4 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}} \right] \\ &= 0,0036\end{aligned}$$

$$\begin{array}{ccccc}\rho_{\min} & < & \rho_{\text{perlu}} & < & \rho_{\max} \\ 0,0035 & < & 0,0033 & < & 0,024\end{array} \quad (\text{tidak memenuhi})$$

$$\begin{aligned}\text{As} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d \\ &= 0,0036 \cdot 200 \text{ mm} \cdot 192,5 \text{ mm} \\ &= 139,69 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas tulangan lentur} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= 0,25 \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2 \\ &= 283,38 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur + luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur

Jumlah tulangan pasang :

- Luasan tulangan perlu lentur tarik+ luasan tambahan puntir longitudinal sisi atas balok :

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{perlu}}} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\ &= 139,69 \text{ mm}^2 + \frac{260,35 \text{ mm}^2}{4} \\ &= 204,78 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan pasang lentur tarik

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{Luas tulangan lentur}} = \frac{204,78 \text{ mm}^2}{283,38 \text{ mm}^2} \\ &= 0,7 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 2D19

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{pasang}}} &= n \cdot \text{luas tulangan lentur} \\ &= 2 \cdot 283,38 \text{ mm}^2 \\ &= 566,77 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$A_{S_{\text{pasang}}} = 566,77 \text{ mm}^2 > A_{S_{\text{perlu}}} = 204,78 \text{ mm}^2$$

(memenuhi)

- Luasan tulangan perlu tekan + luasan tambahan puntir longitudinal sisi bawah balok :

$$\begin{aligned} A_{s' \text{ perlu}} &= A_{s'} + \frac{A_l}{4} \\ &= 0 + \frac{260,35 \text{ mm}^2}{4} \\ &= 65,09 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan pasang lentur tekan

$$n = \frac{As'_{\text{perlu}}}{\text{Luas tulangan lentur}} = \frac{65,09 \text{ mm}^2}{283,38 \text{ mm}^2} = 0,23 \text{ buah} \approx \mathbf{2 \text{ buah}}$$

Dipasang tulangan lentur 2D19

$$\begin{aligned} As'_{\text{pasang}} &= n \cdot \text{luas tulangan letur} \\ &= 2 \cdot 283,38 \text{ mm}^2 \\ &= 566,77 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$As'_{\text{pasang}} = 566,77 \text{ mm}^2 > As'_{\text{perlu}} = 65,09 \text{ mm}^2$$

(memenuhi)

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan tulangan tarik 1 lapis 2D19 dan tulangan tekan 1 lapis 2D19

- **Kontrol Tulangan Tarik**

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \cdot t_{\text{decking}}) - (2 \cdot \phi_{\text{geser}}) - (\text{jml tul. } D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{200 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - (2 \cdot 8 \text{ mm}) - (2 \cdot 19 \text{ mm})}{2 - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = 66 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{\text{maks}} = 66 \text{ mm} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \text{ **(memenuhi)**}$$

- **Kontrol Tulangan Tekan**

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \cdot t_{\text{decking}}) - (2 \cdot \phi_{\text{geser}}) - (\text{jml tul} \cdot D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{200 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - (2 \cdot 8 \text{ mm}) - (2 \cdot 19 \text{ mm})}{2 - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = 66 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{\text{maks}} = 66 \text{ mm} \geq S_{\text{syarat agregat}} = 25 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negative maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut.

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= 2D19 \\ &= 2 \cdot 0,25 \cdot 3,14 \cdot (19 \text{ mm})^2 \\ &= 566,77 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'_{\text{pasang}}} &= 2D19 \\ &= 2 \cdot 0,25 \cdot 3,14 \cdot (19 \text{ mm})^2 \\ &= 566,77 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} \cdot M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$566,77 \text{ mm}^2 \geq 188,92 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(memenuhi)}$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$a = \frac{(A_s \cdot f_y)}{(0,85 \cdot f_c' \cdot b)}$$

$$= \frac{(566,77 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2)}{(0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2 \cdot 200 \text{ mm})}$$

$$= 53,34 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{n_{\text{pasang}}} &= 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \cdot d - \left(\frac{a}{2} \right) \\ &= 0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2 \cdot 53,34 \text{ mm} \cdot 200 \text{ mm} \\ &\quad \cdot \left(192,5 \text{ mm} - \left(\frac{53,34 \text{ mm}}{2} \right) \right) \\ &= 56.391.961,37 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned} \phi M_{n_{\text{pasang}}} &> M_u \\ 0,8 \cdot 56.391.961,37 \text{ N.mm} &> 8.311.174,46 \text{ N.mm} \\ 45.113.569,09 \text{ N.mm} &> 8.311.174,46 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

(memenuhi)

Jadi, penulangan lentur untuk balok B3 (20/25) As 1', B-C pada daerah tumpuan kanan dipakai tulangan tarik 2D19 dan tulangan tekan 2D19 dengan susunan sebagai berikut :

- Tulangan Tarik 1 Lapis

Lapis 1 : 2D19

Tulangan Tekan 1 Lapis

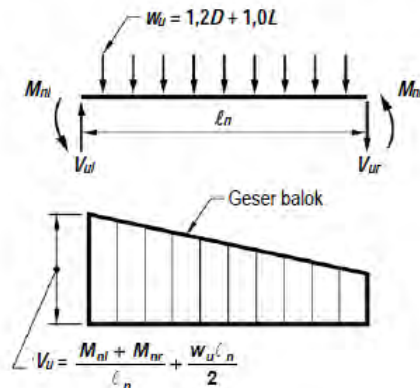
Lapis 1 : 2D19

4.5.3.3. PENULANGAN GESER BALOK

- Data Perencanaan balok sebagai berikut :
 - L balok = 4000 mm
 - b balok = 200 mm
 - h balok = 250 mm
 - Kuat tekan beton f_c' = 25 Mpa
 - Kuat leleh tulangan geser (f_y geser) = 240 MPa
 - Diameter tulangan lentur (ϕ lentur) = 19 mm
 - Diameter tulangan geser (ϕ geser) = 8 mm
 - Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) = 0,75
- (SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3)*

Berdasarkan perhitungan tulangan lentur pada **B3 (20/25)**
As 1',B-C didapat :

Momen Tulangan Terpasang



Gambar 4. 27. Perencanaan Geser Desain Untuk SRPMM

- **Momen Pasang tumpuan kiri**
 Dipasang tulangan tarik 2D19, $A_s = 566,77 \text{ mm}^2$

Tinggi balok gaya tekan beton :

$$\begin{aligned}
 a &= \left(\frac{A_s \text{ pasang} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \right) \\
 &= \left(\frac{566,77 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2 \cdot 200 \text{ mm}} \right) \\
 &= 53,34 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Cek momen nominal pasang :

$$\begin{aligned}
 M_{nl} &= A_{s \text{ pasang}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 566,77 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2 \cdot \left(192,5 \text{ mm} - \frac{53,34 \text{ mm}}{2} \right) \\
 &= 37.594.640,91 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

- **Momen Pasang tumpuan kanan**

Dipasang tulangan tekan 2D19, $A_s = 566,77 \text{ mm}^2$

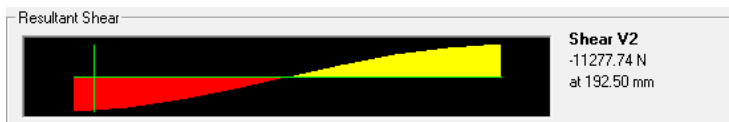
Tinggi balok gaya tekan beton :

$$\begin{aligned}
 a &= \left(\frac{A_s \text{ pasang} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \right) \\
 &= \left(\frac{566,77 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2 \cdot 200 \text{ mm}} \right) \\
 &= 53,34 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Cek momen nominal pasang :

$$\begin{aligned}
 M_{nr} &= A_{s \text{ pasang}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 566,77 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2 \cdot \left(192,5 \text{ mm} - \frac{53,34 \text{ mm}}{2} \right) \\
 &= 37.594.640,91 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1,2D + 1L, dari analisa SAP2000 didapatkan :



Gaya geser terfaktor $V_u = 11.277,74 \text{ N}$

(Dimana V_u diambil sejarak $d = 192,5 \text{ mm}$)

(*SNI 03-2847-2013 pasal 11.1.3.1*)

Syarat kuat tekan beton :

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 8,3 MPa

[*SNI 03-2847-2013 pasal 11.1.2*]

$$\sqrt{f_c'} < 8,3$$

$$\sqrt{25} < 8,3$$

$$5 < 8,3 \text{ (memenuhi)}$$

- Kuat geser beton

(*SNI 03-2847-2002 pasal 13.3.1.1*)

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{25 \text{ N/mm}^2} \cdot 200 \text{ mm} \cdot 192,5 \text{ mm} \\ &= 32.083 \text{ N} \end{aligned}$$

- Kuat Geser Tulangan Geser

$$\begin{aligned} V_{s_{\min}} &= \frac{1}{3} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{1}{3} \cdot 200 \text{ mm} \cdot 192,5 \text{ mm} \\ &= 12.833 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s_{\max}} &= \frac{1}{3} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{1}{3} \cdot \sqrt{25 \text{ N/mm}^2} \cdot 200 \text{ mm} \cdot 192,5 \text{ mm} \\ &= 64.167 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2.V_{s_{\max}} &= \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{2}{3} \cdot \sqrt{25 \text{ N/mm}^2} \cdot 200 \text{ mm} \cdot 192,5 \text{ mm} \\ &= 128.333 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya geser pada ujung perletakan diperoleh dari :

$$\begin{aligned}
 V_{u1} &= \frac{M_{nl} + M_{nr}}{L_n} + \frac{W_u \times L_n}{2} \\
 &= \frac{M_{nl} + M_{nr}}{L_n} + V_u
 \end{aligned}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.6.2)

Dimana :

V_{u1} = Gaya geser pada muka perletakan

M_{nl} = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

M_{nr} = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

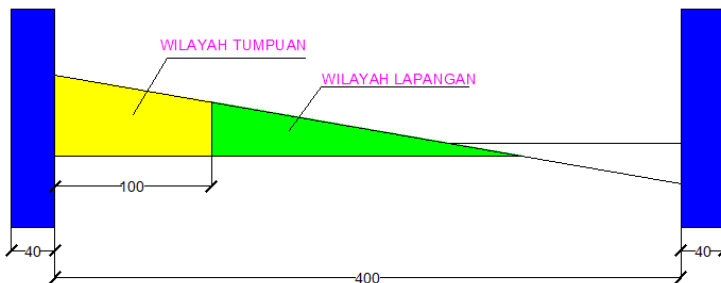
L_n = Panjang balok bersih

$$\begin{aligned}
 V_{u1} &= \frac{M_{nl} + M_{nr}}{L_n} + V_{u \text{ tumpuan}} \\
 &= \frac{37594640,91 \text{ Nmm} + 37594640,91 \text{ Nmm}}{4000 \text{ mm}} + 11.277,74 \text{ N} \\
 &= 30.075,1 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- Pembagian Wilayah Geser Balok

Wilayah balok dibagi menjadi 2 wilayah, yaitu :

1. Wilayah tumpuan seperempat bentang bersih balok dari muka kolom.
2. Wilayah lapangan dimulai dari akhir wilayah tumpuan sampai ke tengah bentang balok



Gambar 4. 28. Diagram gaya geser pada balok

- Penulangan Geser Balok

Pada wilayah tumpuan

$$V_{u1} = 30.075,1 \text{ N}$$

Cek kondisi :

Kondisi 1

$V_u \leq 0,5 \cdot \emptyset \cdot V_c \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser

$$30.075,1 \text{ N} \leq 0,5 \cdot 0,75 \cdot 32.083 \text{ N}$$

$$30.075,1 \text{ N} \leq 12.031,25 \text{ N} \quad \textbf{(Tidak Memenuhi)}$$

Kondisi 2

$0,5 \cdot \emptyset \cdot V_c \leq V_u \leq \emptyset \cdot V_c \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser

$$0,5 \cdot 0,75 \cdot 32.083 \text{ N} \leq 30.075,1 \text{ N} \leq 0,75 \cdot 32.083 \text{ N}$$

$$12.031,25 \text{ N} \leq 30.075,1 \text{ N} \leq 24.062,5 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Kondisi 3

$\emptyset \cdot V_c \leq V_u \leq \emptyset \cdot (V_c + V_{smin}) \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser

$$0,75 \cdot 32.083 \text{ N} \leq 30.075,1 \text{ N} \leq 0,75 \cdot (30.075,1 \text{ N} + 12.833 \text{ N})$$

$$24.062,5 \text{ N} \leq 30.075,1 \text{ N} \leq 33.687,5 \text{ N}$$

(Memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser kolom diambil berdasarkan **Kondisi 3**

$$\begin{aligned} V_{s\text{perlu}} &= \frac{1}{3} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{1}{3} \cdot 200 \text{ mm} \cdot 192,5 \text{ mm} \\ &= 12.833 \text{ N} \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø8 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= (0,25 \cdot \pi \cdot d^2) \cdot n \text{ buah} \\ &= (0,25 \cdot \pi \cdot (8 \text{ mm})^2) \cdot 2 \\ &= 100,48 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{perlu})

$$\begin{aligned}
 S_{perlu} &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot 3}{b} \\
 &= \frac{100,48 \text{ mm}^2 \cdot 240 \text{ N/mm}^2 \cdot 3}{200 \text{ mm}} \\
 &= 361,73 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Berdasarkan Kondisi 3

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &\leq \frac{d}{2} \\
 361,73 \text{ mm} &\leq \frac{192,5 \text{ mm}}{2} \\
 361,73 \text{ mm} &\leq 96,25 \text{ mm} \quad \textbf{(tidak memenuhi)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &\leq 600 \text{ mm} \\
 361,73 \text{ mm} &\leq 600 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Senggang harus dispasikan tidak lebih dari $d/2$ sepanjang balok.
(SNI 03-2847-2013 Pasal 23.3.4.3)

Dipakai tulangan geser Ø8 – 40 mm

Cek Persyaratan SRPMM untuk Kekuatan Geser Balok

Cek persyaratan berdasarkan (SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.2) pada kedua ujung komponen harus dipasang sengkang sepanjang panjang tidak kurang dari **2h** diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama harus ditempatkan pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu.

1. Seperempat tinggi efektif

$$S \leq d/4$$

$$40 \text{ mm} \leq 192,5 \text{ mm}/4$$

$$40 \text{ mm} \leq 48,125 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)}$$

2. Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil,

$$S_o \leq 8 \cdot D \text{ lentur}$$

$$40 \text{ mm} \leq 8 \cdot 19 \text{ mm}$$

$$40 \text{ mm} \leq 152 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)}$$

3. 24 kali diameter sengkang,
 $S_o \leq 24 \cdot \emptyset \text{ sengkang}$
 $40 \text{ mm} \leq 24 \cdot 8 \text{ mm}$
 $40 \text{ mm} \leq 192 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)}$
4. $S_o \leq 300 \text{ mm}$
 $40 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)}$

Kontrol syarat penulangan geser memenuhi, maka S_{pakai} menggunakan jarak $48,125 \text{ mm} \approx 40 \text{ mm}$.
 Sehingga dipasang $\emptyset 8 - 40 \text{ mm}$ dengan sengkang 2 kaki.

Pada wilayah lapangan

$$\begin{aligned}
 V_{u2} &= \frac{V_{u1} \cdot \left(\frac{1}{2}Ln - 2h\right)}{\frac{1}{2}Ln} \\
 &= \frac{30.075,1 \text{ N} \cdot \left(\left(\frac{1}{2} \cdot 4000 \text{ mm}\right) - 2 \cdot 250 \text{ mm}\right)}{\frac{1}{2} \cdot 4000 \text{ mm}} \\
 &= 22.556,3 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cek kondisi :

Kondisi 1

$V_u \leq 0,5 \cdot \emptyset \cdot V_c \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser

$$22.556,3 \text{ N} \leq 0,5 \cdot 0,75 \cdot 32.083 \text{ N}$$

$$22.556,3 \text{ N} \leq 12.031,25 \text{ N} \quad \textbf{(tidak memenuhi)}$$

Kondisi 2

$0,5 \cdot \emptyset \cdot V_c \leq V_u \leq \emptyset \cdot V_c \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser

$$0,5 \cdot 0,75 \cdot 32.083 \text{ N} \leq 22.556,3 \text{ N} \leq 0,75 \cdot 32.083 \text{ N}$$

$$12.031,25 \text{ N} \leq 22.556,3 \text{ N} \leq 24.062,5 \text{ N} \quad \textbf{(memenuhi)}$$

Maka perencanaan penulangan geser kolom diambil berdasarkan

Kondisi 2 yaitu tulangan geser minimum

$$V_{\text{Sperlu}} = \frac{1}{3} \cdot b \cdot d$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{3} \cdot 200 \text{ mm} \cdot 192,5 \text{ mm} \\
 &= 12.833 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø8 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned}
 A_v &= (0,25 \cdot \pi \cdot d^2) \cdot n \text{ buah} \\
 &= (0,25 \cdot \pi \cdot (8 \text{ mm})^2) \cdot 2 \\
 &= 100,48 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{perlu})

$$\begin{aligned}
 S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot 3}{b} \\
 &= \frac{100,48 \text{ mm}^2 \cdot 240 \text{ N/mm}^2 \cdot 3}{200 \text{ mm}} \\
 &= 361,73 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Berdasarkan Kondisi 2

$$\begin{aligned}
 S_{\text{maks}} &\leq \frac{d}{2} \\
 361,73 \text{ mm} &\leq \frac{192,5 \text{ mm}}{2} \\
 361,73 \text{ mm} &\leq 96,25 \text{ mm} \quad \quad \quad \text{(tidak memenuhi)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{maks}} &\leq 600 \text{ mm} \\
 361,73 \text{ mm} &\leq 600 \text{ mm} \quad \quad \quad \text{(memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Senggang harus dispasikan tidak lebih dari $d/2$ sepanjang balok.
(SNI 03-2847-2013 Pasal 23.3.4.3)

Dipakai tulangan geser Ø8 – 80 mm

Cek Persyaratan SRPMM untuk Kekuatan Geser Balok

Cek persyaratan berdasarkan (SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.2) pada kedua ujung komponen harus dipasang sengkang sepanjang panjang tidak kurang dari **2h** diukur dari muka perletakan ke arah

tengah bentang. Senggang pertama harus ditempatkan pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu.

1. Seperempat tinggi efektif
 $S_o \leq d/4$
 $80 \text{ mm} \leq 192,5 \text{ mm}/4$
 $80 \text{ mm} \leq 48,125 \text{ mm}$ **(tidak memenuhi)**
2. Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil,
 $S_o \leq 8 \cdot D \text{ lentur}$
 $80 \text{ mm} \leq 8 \cdot 19 \text{ mm}$
 $80 \text{ mm} \leq 152 \text{ mm}$ **(memenuhi)**
3. 24 kali diameter sengkang,
 $S_o \leq 24 \cdot \emptyset \text{ sengkang}$
 $80 \text{ mm} \leq 24 \cdot 8 \text{ mm}$
 $80 \text{ mm} \leq 192 \text{ mm}$ **(memenuhi)**
4. $S_o \leq 300 \text{ mm}$
 $80 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm}$ **(memenuhi)**

Kontrol syarat penulangan geser tidak memenuhi, maka S_{pakai} menggunakan jarak minimum kontrol yaitu $96,25 \text{ mm} \approx 80 \text{ mm}$.

Sehingga dipasang $\emptyset 8\text{-}80 \text{ mm}$ dengan sengkang 2 kaki.

4.5.3.4. PANJANG PENYALURAN TUL.BALOK

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan. Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan ***SNI 03-2847-2013 pasal 12.***

Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tarik

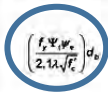
Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.2**.

Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm.

(**SNI 03-2847-2002 Pasal 12.2.1**)

Untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dapat dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.2** sebagai berikut :

Tabel 4. 9. Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir

	Batang tulangan atau kawat ulir D-19 dan yang lebih kecil	Batang tulangan D-22 dan yang lebih besar
Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari d_b , selimut bersih tidak kurang dari d_b , dan sengkang atau pengikat sepanjang ℓ_d tidak kurang dari minimum Tata Cara atau Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut bersih tidak kurang dari d_b		$\left(\frac{f_t \psi_t \psi_e}{1.7 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$
Kasus-kasus lain	$\left(\frac{f_t \psi_t \psi_e}{1.44 \sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left(\frac{f_t \psi_t \psi_e}{1.14 \sqrt{f'_c}} \right) d_b$

(**SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.2**)

Dimana :

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$\psi_t = 1,3$$

(**SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.4.a**)

$$\psi_e = 0,8$$

(**SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.4.c**)

$$\lambda = 1 \text{ (beton normal)}$$

(**SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.4.d**)

$$f'_c = 25 \text{ MPa}$$

$$d_b = 19 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{f_y \cdot \psi_t \cdot \psi_e}{2,1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c'}} \right) &= \frac{\lambda_d}{db} \geq 300 \text{ mm} \\ \left(\frac{400 \cdot 1,3 \cdot 0,8}{2,1 \cdot 1 \cdot \sqrt{25}} \right) &= \frac{\lambda_d}{19 \text{ mm}} \geq 300 \text{ mm} \\ \lambda_d &= 752,8 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= 300,33 \text{ mm}^2 \\ A_{s_{\text{pasang}}} &= 566,77 \text{ mm}^2 \\ \text{Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda_{d \text{ reduksi}} &= \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_{s \text{ terpasang}}} \cdot \lambda_d \\ \lambda_{d \text{ reduksi}} &= \frac{300,33 \text{ mm}^2}{566,77 \text{ mm}^2} \times 752,8 \text{ mm} \\ &= 398,88 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 400 mm

Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tekan

Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3**

Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan tidak boleh kurang dari 200 mm.

(SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.1)

$$\begin{aligned} \left(\frac{0,24 \cdot f_y}{\lambda \cdot \sqrt{f'c'}} \right) &= \frac{\lambda_d}{db} \geq 200 \text{ mm} \\ \left(\frac{0,24 \cdot 400}{1 \cdot \sqrt{25}} \right) &= \frac{\lambda_d}{19 \text{ mm}} \geq 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\lambda_d = 364,8 \text{ mm} \geq 200 \text{ mm (memenuhi)}$$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= 300,33 \text{ mm}^2 \\ A_{s_{\text{pasang}}} &= 566,77 \text{ mm}^2 \\ \text{Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \lambda_{d \text{ reduksi}} &= \frac{As_{\text{perlu}}}{As_{\text{terpasang}}} \times \lambda_d \\
 &= \frac{300,33 \text{ mm}^2}{566,77 \text{ mm}^2} \times 364,8 \text{ mm} \\
 &= 193,3 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan 200 mm.

Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tarik

Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5**

Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 150 mm.

(SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5.1)

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$\psi_e = 1,2$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5.2.)

$$\lambda = 0,75 \text{ (beton normal)}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5.2.)

$$\left(\frac{0,24 \cdot \psi_e \cdot f_y}{\lambda \cdot \sqrt{f_{c'}}} \right) = \frac{\lambda_d}{d_b} \geq 150 \text{ mm}$$

$$\left(\frac{0,24 \cdot 1,2 \cdot 400}{0,75 \cdot \sqrt{25}} \right) = \frac{\lambda_d}{19 \text{ mm}} \geq 150 \text{ mm}$$

$$\lambda_d = 583,68 \text{ mm} \geq 150 \text{ mm (memenuhi)}$$

$$As_{\text{perlu}} = 300,33 \text{ mm}^2$$

$$As_{\text{pasang}} = 566,77 \text{ mm}^2$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\lambda_{d \text{ reduksi}} = \frac{As_{\text{perlu}}}{As_{\text{terpasang}}} \times \lambda_{hb}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{300,33 \text{ mm}^2}{566,77 \text{ mm}^2} \times 583,68 \text{ mm} \\
 &= 309,3 \text{ mm} \approx 310 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik 310 mm.

Untuk panjang kait dengan D19 ditambah perpanjangan **12d_b** pada penulangan sloof

(SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5.1)

$$\begin{aligned}
 12d_b &= 12 \cdot 19 \text{ mm} \\
 &= 228 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

4.5.3.5. KONTROL RETAK

Bila tegangan leleh rencana f_y untuk tulangan tarik melebihi 300 MPa, maka penampang dengan momen positif dan negatif maksimum harus dirancang sedemikian hingga nilai:

$$\begin{aligned}
 z &= f_s \cdot \sqrt[3]{d_c A} < 30 \text{ MN/mm}^2 \\
 &\text{(untuk penampang di dalam ruangan)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 z &= f_s \cdot \sqrt[3]{d_c A} < 25 \text{ MN/mm}^2 \\
 &\text{(untuk penampang yang dipengaruhi cuaca luar)}
 \end{aligned}$$

(SNI 03-2847-2002 Pasal 12.6.4)

$$\begin{aligned}
 d_c &= \text{decking} + (0,5 \cdot D \text{ lentur}) \\
 &= 40 \text{ mm} + (0,5 \cdot 19 \text{ mm}) \\
 &= 49,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{2d_c \cdot b_w}{n}, \text{ dengan } n \text{ adalah jumlah tulangan} \\
 &= \frac{2 \cdot 49,5 \text{ mm} \cdot 200 \text{ mm}}{6} \\
 &= 3300 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$z = f_s \cdot \sqrt[3]{d_c A}$$

$$\begin{aligned} z &= 0,6 f_s \cdot \sqrt[3]{d_c A} \\ &= 0,6 \cdot 400 \text{ N/mm}^2 \cdot \sqrt[3]{49,5 \text{ mm} \cdot 3300 \text{ mm}^2} \\ &= 13118 \text{ N/mm} \\ &= 13,12 \text{ MN/mm} < 30 \text{ MN/mm} \\ &\textbf{(memenuhi)} \end{aligned}$$

Sebagai alternative terhadap perhitungan nilai z, dapat dilakukan dengan perhitungan lebar retak yang diberikan oleh :

$$\begin{aligned} \omega &= 11 \cdot 10^{-6} \cdot \beta \cdot f_s \cdot \sqrt[3]{d_c A} \\ &= 11 \cdot 10^{-6} \cdot 0,85 \cdot 400 \text{ /mm}^2 \cdot \sqrt[3]{49,5 \text{ mm} \cdot 3300 \text{ mm}^2} \\ &= 0,204 \text{ mm} < 0,4 \text{ mm} \qquad \textbf{(memenuhi)} \end{aligned}$$

Nilai lebar retak yang diperoleh tidak boleh melebihi 0,4 mm untuk penampang didalam ruangan dan 0,3 mm untuk penampang yang dipengaruhi cuaca luar, dimana $\beta = 0,85$ untuk $f_c' \leq 30 \text{ MPa}$.

Jadi penulangan Balok Induk B3 (20/25), As 1',B-C elevasi + 7,38 adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 10. Penulangan Balok Anak

PENULANGAN BALOK ANAK				
	KOMBINASI	BALOK ANAK		
TULANGAN TORSI		TIDAK MEMERLUKAN TUL.TORSI		
TULANGAN LENTUR TUMPUAN KIRI	1.2D + 1L + 0.3Ex + 1Ey			
tulangan tarik		2	D19	
tulangan tekan		2	D19	
TULANGAN	1.2D + 1L +			

LENTUR TUMPUAN KANAN	0.3Ex + 1Ey			
tulangan tarik		2	D19	
tulangan tekan		2	D19	
TULANGAN LENTUR LAPANGAN	1.2D + 1L + 0.3Ex + 1Ey			
tulangan tarik		2	D19	
tulangan tekan		2	D19	
TULANGAN GESER	1.2D + 1L			
wilayah tumpuan		Ø8 -	40	
wilayah lapangan		Ø8 -	80	
PANJANG PENYALURAN				
penyaluran tarik		400	mm	
penyaluran tekan		200	mm	
penyaluran berkait tarik		310	mm	
penyaluran kait	12 . db	228	≈	230
KONTROL RETAK	0.204	<	0.4	MEMENUHI

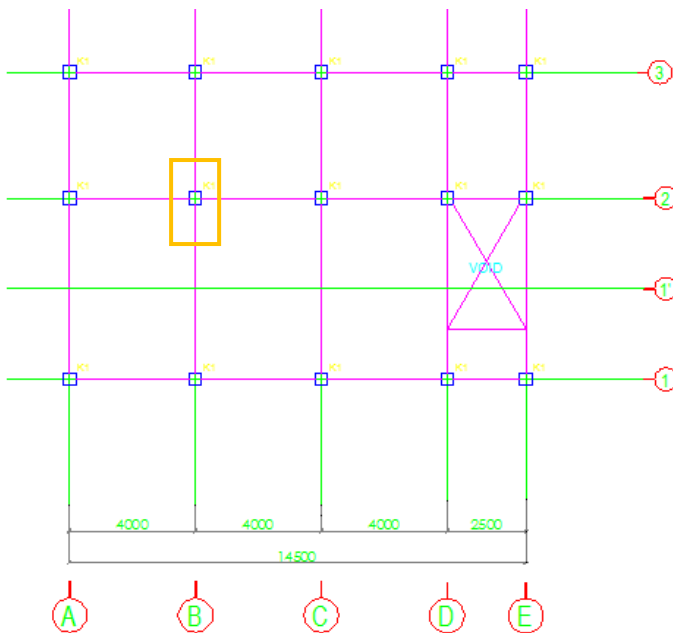
4.6. PERHITUNGAN KOLOM

Perhitungan penulangan kolom, sebagai contoh perhitungan diambil kolom struktur As 2-B pada lantai 3. Berikut adalah cara-cara penghitungan yang disesuaikan dengan ketentuan-ketentuan pada Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah.

4.6.1. PENULANGAN LENTUR KOLOM

• Data perencanaan kolom :

- Tipe kolom : K-1
- As kolom : 2-B
- Tinggi kolom atas : 3010 mm
- Tinggi kolom bawah : 3700 mm
- Dimensi kolom atas : 400 mm x 400 mm
- Dimensi kolom bawah : 400 mm x 400 mm
- Kuat tekan beton (f_c') : 25 MPa
- Modulus elastisitas beton (E_c) : $4700 \sqrt{f_c'}$
- Modulus elastisitas baja (E_s) : 200000 MPa
- Kuat leleh tulangan lentur (f_y lentur) : 400 MPa
- Kuat leleh tulangan geser (f_y geser) : 240 MPa
- Diameter tulangan lentur (\emptyset lentur) : 19 mm
- Diameter tulangan geser (\emptyset geser) : 8 mm
- Tebal selimut beton (decking) : 40 mm
- (SNI 03-2847-2002 pasal 9.7.1)*
- Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar) : 40 mm
- (SNI 03-2847-2002 pasal 9.6.3)*
- Faktor β_1 : 0,85
- (SNI 03-2847-2002 pasal 12.2.7.(3))*
- Faktor reduksi kekuatan lentur (\emptyset) : 0,8
- (SNI 03-2847-2002 pasal 11.3.2.(1))*
- Faktor reduksi kekuatan geser (\emptyset) : 0,75
- (SNI 03-2847-2002 pasal 11.3.2.(3))*



Gambar 4. 29. Denah Kolom Yang Ditinjau

Berdasarkan data output SAP 2000 frame 266 didapatkan:

- Gaya aksial kolom

P_u (1,2 DL) : 350149,2 kg = 350149,2 N

P_u (1,2 DL + 1,6 LL) : 454488,8kg = 454488,8 N

- Momen akibat pengaruh beban gravitasi akibat kombinasi 1,2 DL+1,6 LL

-

Momen arah sumbu X

M_{1ns} : 457,62 kg.m = 4576200 Nmm

M_{2ns} : 432,41 kg.m = 4324100 Nmm

Momen arah sumbu Y

M_{1ns} : 4119,08 kg.m = 41190800 Nmm

$$M_{2ns} : 4352,62 \text{ kg.m} = 43526200 \text{ Nmm}$$

Momen Akibat Pengaruh Beban Gravitasi :

M_{1ns} : adalah nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping. *(SNI 03-2847-2002)*

M_{2ns} : adalah nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping. *(SNI 03-2847-2002)*

- Momen akibat pengaruh beban gempa

Momen arah sumbu X

$$M_{1s} : 795,2 \text{ kg.m} = 7952000 \text{ Nmm}$$

$$M_{2s} : 1337,2 \text{ kg.m} = 13372000 \text{ Nmm}$$

Momen arah sumbu Y

$$M_{1s} : 10079,36 \text{ kg.m} = 100793600 \text{ Nmm}$$

$$M_{2s} : 12013,74 \text{ kg.m} = 120137400 \text{ Nmm}$$

Momen Akibat Pengaruh Beban Gempa :

M_{1s} : momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terkecil dalam Nmm

(SNI 03-2847-2002)

M_{2s} : momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terbesar dalam Nmm

(SNI 03-2847-2002)

- Menghitung faktor β_d

β_d adalah rasio beban aksial tetap terfaktor yang bernilai maksimum terhadap beban aksial terfaktor maksimum.

$$\beta_d = \frac{Pu(1,2)}{Pu(1,2DL+1,6LL)}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{350149,2 \text{ N}}{454488,8 \text{ N}} \\
 &= 0.77
 \end{aligned}$$

- Menghitung faktor kekakuan (EI)
 - Panjang tekuk kolom

$$\psi = \frac{\sum (EI/L)_{kolom}}{\sum (EI/L)_{balok}}$$

Untuk kolom yang ditinjau

Modulus Elastisitas Beton

$$\begin{aligned}
 E_c &= 4700 \sqrt{f'c'} \quad (\text{SNI 03-2847-2002 pasal 10.5.1}) \\
 &= 4700 \sqrt{25 \text{ N/mm}^2} \\
 &= 23.500 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen Inersia Kolom

$$\begin{aligned}
 I_k &= 0,70 \cdot I_g \\
 &= 0,70 \cdot (1/12 \cdot b \cdot h^3) \\
 &= 0,70 \cdot (1/12 \cdot 400 \text{ mm} \cdot (400 \text{ mm})^3) \\
 &= 0,70 \cdot 2.133.333.333 \text{ mm}^4 \\
 &= 1.493.333.333 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 12.11.1)

$$\begin{aligned}
 EI_k &= \frac{0,4 \cdot E_c \cdot I_k}{1 + \beta_d} \\
 &= \frac{0,4 \cdot 23500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 1.493.333.333 \text{ mm}^4}{1 + 0,76} \\
 &= 7.98 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 12.12.3)

Untuk kolom bawah

Modulus Elastisitas Beton

$$\begin{aligned}
 E_c &= 4700 \sqrt{f'c'} \quad (\text{SNI 03-2847-2002 pasal 10.5.1}) \\
 &= 4700 \sqrt{25 \text{ N/mm}^2} \\
 &= 23.500 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen Inersia Kolom

$$\begin{aligned}
 I_k &= 0,70 \cdot I_g \\
 &= 0,70 \cdot (1/12 \cdot b \cdot h^3) \\
 &= 0,70 \cdot (1/12 \cdot 400 \text{ mm} \cdot (400 \text{ mm})^3) \\
 &= 0,70 \cdot 2.133.333.333 \text{ mm}^4 \\
 &= 1.493.333.333 \text{ mm}^4 \\
 &\quad \text{(SNI 03-2847-2002 pasal 12.11.1)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 EI_k &= \frac{0,4 \cdot E_c \cdot I_k}{1 + \beta d} \\
 &= \frac{0,4 \cdot 23500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 1.493.333.333 \text{ mm}^4}{1 + 0,76} \\
 &= 7,98 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2 \\
 &\quad \text{(SNI 03-2847-2002 pasal 12.12.3)}
 \end{aligned}$$

- Balok atas
arah sumbu X
 dimensi balok = 200 mm x 300 mm
 panjang balok 1 = 4000 mm
 panjang balok 2 = 4000 mm

Modulus Elastisitas Beton

$$\begin{aligned}
 E_c &= 4700 \sqrt{f'c} \quad \text{(SNI 03-2847-2002 pasal 10.5.1)} \\
 &= 4700 \sqrt{25 \text{ N/mm}^2} \\
 &= 23.500 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen Inersia Balok

$$\begin{aligned}
 I_b &= 0,35 \cdot I_g \\
 &= 0,35 \cdot (1/12 \cdot b \cdot h^3) \\
 &= 0,35 \cdot (1/12 \cdot 300 \text{ mm} \cdot (400 \text{ mm})^3) \\
 &= 157500000 \text{ mm}^4 \\
 &\quad \text{(SNI 03-2847-2002 pasal 12.11.1)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 EI_b &= \frac{0,4 \cdot E_c \cdot I_b}{1 + \beta d} \\
 &= \frac{0,4 \cdot 23500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 157500000 \text{ mm}^4}{1 + 0,76} \\
 &= 8,42 \times 10^{11} \text{ Nmm}^2 \\
 &\quad \text{(SNI 03-2847-2002 pasal 12.12.3)}
 \end{aligned}$$

arah sumbu Y

dimensi balok = 300 mm x 400 mm

panjang balok 1 = 4000 mm

panjang balok 2 = 5750 mm

Modulus Elastisitas Beton

$$\begin{aligned}
 E_c &= 4700 \sqrt{f'c'} \quad (\text{SNI 03-2847-2002 pasal 10.5.1}) \\
 &= 4700 \sqrt{25 \text{ N/mm}^2} \\
 &= 23.500 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen Inersia Balok

$$\begin{aligned}
 I_b &= 0,35 \cdot I_g \\
 &= 0,35 \cdot (1/12 \cdot b \cdot h^3) \\
 &= 0,35 \cdot (1/12 \cdot 300 \text{ mm} \cdot (400 \text{ mm})^3) \\
 &= 560000000 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 12.11.1)

$$\begin{aligned}
 EI_k &= \frac{0,4 \cdot E_c \cdot I_b}{1 + \beta d} \\
 &= \frac{0,4 \cdot 23500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 560000000 \text{ mm}^4}{1 + 0,76} \\
 &= 2,99 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 12.12.3)

- Balok bawah

arah sumbu X

dimensi balok = 200 mm x 300 mm

panjang balok 1 = 4000 mm

panjang balok 2 = 4000 mm

Modulus Elastisitas Beton

$$\begin{aligned}
 E_c &= 4700 \sqrt{f'c'} \quad (\text{SNI 03-2847-2002 pasal 10.5.1}) \\
 &= 4700 \sqrt{25 \text{ N/mm}^2} \\
 &= 23.500 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen Inersia Balok

$$\begin{aligned}
 I_b &= 0,35 \cdot I_g \\
 &= 0,35 \cdot (1/12 \cdot b \cdot h^3)
 \end{aligned}$$

$$= 0,35 \cdot (1/12 \cdot 300 \text{ mm} \cdot (400 \text{ mm})^3)$$

$$= 157500000 \text{ mm}^4$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 12.11.1)

$$EI_b = \frac{0,4 \cdot E_c \cdot I_b}{1 + \beta_d}$$

$$= \frac{0,4 \cdot 23500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 157500000 \text{ mm}^4}{1 + 0,76}$$

$$= 8.42 \times 10^{11} \text{ Nmm}^2$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 12.12.3)

arah sumbu Y

dimensi balok = 300 mm x 400 mm

panjang balok 1 = 4000 mm

panjang balok 2 = 5750 mm

Modulus Elastisitas Beton

$$E_c = 4700 \sqrt{f'c} \quad (\text{SNI 03-2847-2002 pasal 10.5.1})$$

$$= 4700 \sqrt{25 \text{ N/mm}^2}$$

$$= 23.500 \text{ N/mm}^2$$

Momen Inersia Balok

$$I_b = 0,35 \cdot I_g$$

$$= 0,35 \cdot (1/12 \cdot b \cdot h^3)$$

$$= 0,35 \cdot (1/12 \cdot 300 \text{ mm} \cdot (400 \text{ mm})^3)$$

$$= 560000000 \text{ mm}^4$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 12.11.1)

$$EI_k = \frac{0,4 \cdot E_c \cdot I_b}{1 + \beta_d}$$

$$= \frac{0,4 \cdot 23500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 560000000 \text{ mm}^4}{1 + 0,76}$$

$$= 2.99 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 12.12.3)

Untuk menentukan panjang tekuk kolom, akan diterapkan dengan menggunakan diagram faktor panjang tekuk (K).

Kolom atas

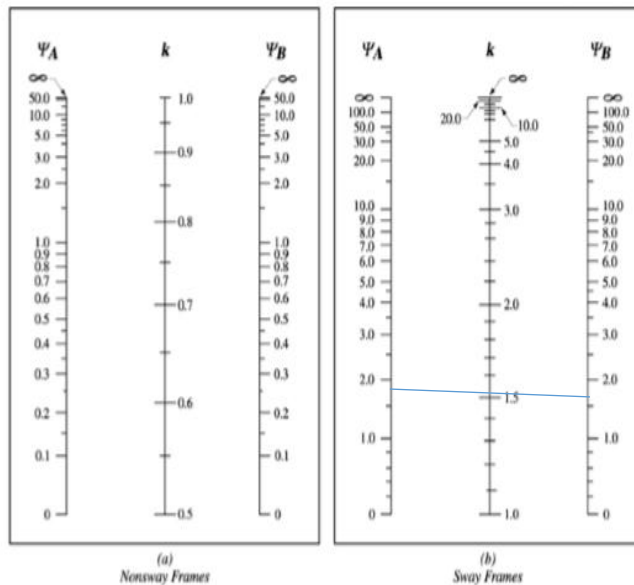
$$\psi = \frac{\Sigma(EI/L)_{kolom}}{\Sigma(EI/L)_{balok}}$$

$$\psi = 1,81$$

Kolom bawah

$$\psi = \frac{\Sigma(EI/L)_{kolom}}{\Sigma(EI/L)_{balok}}$$

$$\psi = 1,73$$



ψ = ratio of $\Sigma(EI/\ell_c)$ of compression members to $\Sigma(EI/\ell)$ of flexural members in a plane at one end of a compression member
 ℓ = span length of flexural member measured center to center of joints

Gambar 4. 30. Faktor Panjang Efektif

(SNI 03-2847-2002 Pasal 12.11.(6))

Dari grafik alligment kolom didapat $k = 1,50$

- Menghitung radius girasi (r)

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$r = \sqrt{\frac{2.133.333.333 \text{ mm}^4}{160.000 \text{ mm}^2}}$$

$$r = 115,47 \text{ mm}$$

- Kontrol kelangsingan kolom

Kolom dianggap tanpa pengaku (unbraced)

Syarat :

nilai $\frac{k \cdot Lu}{r} < 22$ pengaruh kelangsingan diabaikan
(termasuk kolom pendek)

nilai $\frac{k \cdot Lu}{r} \geq 22$ pengaruh kelangsingan tidak diabaikan
(termasuk kolom langsing)

(SNI 03-2847-2002 Pasal 12.13.2)

$$\frac{k \cdot Lu}{r} = \frac{1,50 \cdot 3680 \text{ mm}}{115,47 \text{ mm}}$$

$$= 39,62 \geq 22 \quad (\text{kolom langsing})$$

maka pengaruh kelangsingan tidak diabaikan sehingga terjadi pembesaran momen.

- Menghitung nilai P_c (P kritis) pada kolom

$$\begin{aligned} P_c &= \frac{\pi^2 \cdot EI}{(k \cdot lu)^2} \\ &= \frac{\pi^2 \cdot (7.98 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2)}{(1,50 \cdot 3010 \text{ mm})^2} \\ &= 3734619,74 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma P_c &= n \cdot P_c \\ &= 20 \cdot 3734619,74 \text{ N} \\ &= 74692394,81 \text{ N} \end{aligned}$$

$$P_u = 454488,8 \text{ N}$$

$$\Sigma P_u = 9089776 \text{ N}$$

dimana :

ΣP_c = jumlah seluruh kapasitas tekan kolom-kolom bergoyang pada suatu tingkat.

ΣP_u = jumlah seluruh beban vertikal terfaktor yang bekerja pada suatu tingkat. (diambil dari output SAP)

- Menghitung faktor pembesaran momen

Faktor pembesaran momen akibat pengaruh beban gempa

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{0,75 \sum P_c}} \geq 1$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 12.13.4.(3))

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{9089776 \text{ N}}{0,75 \cdot 74692394,81 \text{ N}}} \geq 1$$

$$\delta_s = 1,19 \geq 1 \text{ (memenuhi)}$$

- Menghitung pembesaran momen

- Arah X

$$M_{1ns} : 457,62 \text{ kg.m} = 4576200 \text{ Nmm}$$

$$M_{2ns} : 432,41 \text{ kg.m} = 4324100 \text{ Nmm}$$

$$M_{1s} : 795,2 \text{ kg.m} = 7952000 \text{ Nmm}$$

$$M_{2s} : 1337,2 \text{ kg.m} = 13372000 \text{ Nmm}$$

$$M_1 = M_{1ns} + (\delta_s \cdot M_{1s})$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 12.13.3)

$$= 4576200 \text{ Nmm} + (1,19 \cdot 7952000 \text{ Nmm})$$

$$= 14068422,41 \text{ Nmm}$$

$$M_2 = M_{2ns} + (\delta_s \cdot M_{2s})$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 12.13.3)

$$= 4324100 \text{ Nmm} + (1,22 \cdot 13372000 \text{ Nmm})$$

$$= 20286121,9 \text{ Nmm}$$

- Arah Y

$$M_{1ns} : 4119,08 \text{ kg.m} = 41190800 \text{ Nmm}$$

$$M_{2ns} : 4352,62 \text{ kg.m} = 43526200 \text{ Nmm}$$

$$M_{1s} : 10079,3 \text{ kg.m} = 100793600 \text{ Nmm}$$

$$M_{2s} : 12013,74 \text{ kg.m} = 120137400 \text{ Nmm}$$

$$M_1 = M_{1ns} + (\delta_s \cdot M_{1s})$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 12.13.3)

$$= 41190800 \text{ Nmm} + (1,19 \cdot 100793600 \text{ Nmm})$$

$$= 161507106,5 \text{ Nmm}$$

$$M_2 = M_{2ns} + (\delta_s \cdot M_{2s})$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 12.13.3)

$$= 43526200 \text{ Nmm} + (1,19 \cdot 120137400 \text{ Nmm})$$

$$= 186933006 \text{ Nmm}$$

Momen yang digunakan di dalam perhitungan adalah momen yang bernilai paling besar yang telah dihitung pembesaran nilainya yaitu 186933006Nmm.

- Menentukan ρ_{perlu} dari diagram interaksi

Dalam menentukan nilai ρ_{perlu} untuk kebutuhan tulangan lentur kolom, digunakan Diagram Interaksi pada buku ***Tabel Grafik dan Diagram Interaksi Untuk Perhitungan Struktur Beton berdasarkan SNI 1992***. Keterangan yang dibutuhkan dalam penggunaan Diagram Interaksi adalah :

$$\text{Mutu beton } f_c' = 25 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Mutu baja tulangan } f_y = 400 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Pemasangan tulangan} = 4 \text{ sisi}$$

$$\mu = 0,8$$

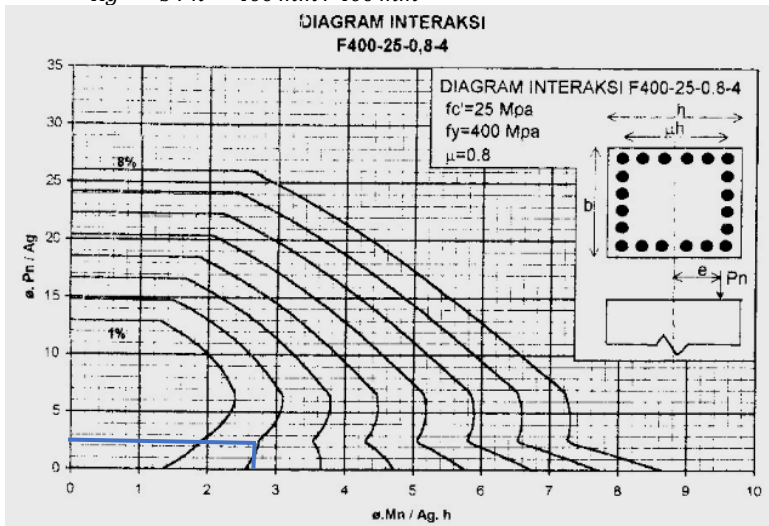
maka digunakan Diagram Interaksi F400-25-0,8-4

- Sumbu Horizontal

$$\frac{\phi Mn}{Ag \cdot h} = \frac{Mu}{b \cdot h^2} = \frac{186933006 \text{ Nmm}}{400 \text{ mm} \cdot (400 \text{ mm})^2} = 2,67 \text{ N/mm}^2$$

- Sumbu Vertikal

$$\frac{\phi Pn}{Ag} = \frac{Pu}{b \cdot h} = \frac{454488.8 \text{ Nmm}}{400 \text{ mm} \cdot 400 \text{ mm}} = 2,84 \text{ N/mm}^2$$



Gambar 4. 31. Grafik Diagram Interaksi F400-25-0,8-4

Maka didapatkan $\rho_{\text{perlu}} = 2\% = 0,02$

• Menghitung penulangan kolom

- Luas tulangan lentur perlu

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot h \\ &= 0,02 \cdot 400 \text{ mm} \cdot 400 \text{ mm} \\ &= 3200 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas tulangan lentur

$$\begin{aligned} \text{luas tulangan D19} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2 \\ &= 283,53 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jumlah tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{As \text{ perlu}}{\text{luas tulangan D19}} \\
 &= \frac{3200 \text{ mm}^2}{283,53 \text{ mm}^2} \\
 &= 11,29 \approx 12 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

- Luasan tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned}
 As_{\text{pasang}} &= n \cdot \text{luas tulangan D19} \\
 &= 12 \cdot 283,53 \text{ mm}^2 \\
 &= 3402,36 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan 12 D-19 dipasang pada 4 sisi kolom. Dengan tiap sisi terdapat 4 buah tulangan.

- Cek jarak spasi tulangan

Syarat :

$$S_{\text{max}} \geq S_{\text{sejajar}} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{max}} \leq S_{\text{sejajar}} \rightarrow \text{perbesar penampang kolom}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{max}} &= \frac{b - (2 \cdot t_{\text{decking}}) - (2 \cdot \phi_{\text{geser}}) - (n_{\text{pasang 1 sisi}} \cdot D_{\text{lentur}})}{n_{\text{pasang 1 sisi}} - 1} \\
 S_{\text{max}} &= \frac{400 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - (2 \cdot 10 \text{ mm}) - (4 \cdot 19 \text{ mm})}{4 - 1}
 \end{aligned}$$

$$S_{\text{max}} = 74,67 \text{ mm} \geq S_{\text{sejajar}} = 40 \text{ mm} \text{ maka tulangan lentur disusun 1 lapis.}$$

- Persentase Tulangan Terpasang

$$\begin{aligned}
 &= \frac{As \text{ pasang}}{b \cdot h} \\
 &= \frac{3402,36 \text{ mm}^2}{400 \text{ mm} \cdot 400 \text{ mm}} \\
 &= 0,021 \\
 &= 2,1\%
 \end{aligned}$$

• Cek kondisi balance

Tinggi efektif kolom

$$\begin{aligned}
 d &= b - \text{decking} - \phi \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \phi \text{ lentur} \\
 &= 400 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 8 \text{ mm} - \left(\frac{1}{2} \cdot 19 \text{ mm} \right) \\
 &= 342,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d' &= \text{decking} + \emptyset \text{ sengkang} + \frac{1}{2} \emptyset \text{ lentur} \\
 &= 40 \text{ mm} + 8 \text{ mm} + \left(\frac{1}{2} \cdot 19 \text{ mm} \right) \\
 &= 57,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d'' &= b - \text{decking} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ lentur} - \frac{1}{2} b \\
 &= 400 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 8 \text{ mm} - \left(\frac{1}{2} \cdot 19 \text{ mm} \right) - \left(\frac{1}{2} \cdot 400 \text{ mm} \right) \\
 &= 142,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 e_{\min} &= (15 \text{ mm} + 0.03 \cdot h) \\
 &= (15 \text{ mm} + 0.03 \cdot 400 \text{ mm}) \\
 &= 27 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_b &= \frac{600}{600 + f_y} \cdot d \\
 &= \frac{600}{600 + 400} \cdot 342,5 \text{ mm} \\
 &= 205,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_b &= \beta_1 \cdot X_b \\
 &= 0,85 \cdot 205,5 \text{ mm} \\
 &= 174,675 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_s' &= A_s' \cdot (f_y - 0,85 \cdot f_c') \\
 &= 1701,18 \text{ mm}^2 \cdot (400 \text{ N/mm}^2 - 0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2) \\
 &= 644.321,925 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_c' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_b \\
 &= 0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2 \cdot 400 \text{ mm} \cdot 0,85 \cdot 205,5 \text{ mm} \\
 &= 1.484.737,5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T &= A_s \cdot f_y \\
 &= 1701,18 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2 \\
 &= 680.472 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$P_b = C_c' + C_s' - T$$

$$\begin{aligned}
 &= 1.484.737,5 \text{ N} + 644.321,925 \text{ N} - 680.472 \text{ N} \\
 &= 1.448.587,425 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$M_b = P_b \times e_b$$

$$\begin{aligned}
 &= C_c' \left(d - d'' - \frac{ab}{2} \right) + C_s' (d - d'' - d') + T \cdot d'' \\
 &= 356.057.372,9 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 e_b &= \frac{M_b}{P_b} \\
 &= \frac{356.057.372,9 \text{ Nmm}}{1.448.587,425 \text{ N}} \\
 &= 245,79 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 e_{\text{perlu}} &= \frac{M_u}{P_u} \\
 &= \frac{186933006 \text{ Nmm}}{454488,8 \text{ N}} \\
 &= 411.303878 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol Kondisi :

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_{\text{balanced}} \text{ (Kondisi Tekan Menentukan)}$$

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_{\text{balanced}} \text{ (Kondisi Tarik Menentukan)}$$

$$e_{\min} = 27 \text{ mm} < e_{\text{perlu}} = 411.30 \text{ mm} > e_{\text{balanced}} = 245,79 \text{ mm}$$

Maka kolom termasuk dalam kondisi tarik menentukan.

- Cek kondisi kolom tarik menentukan

$$e = 411.30 \text{ mm} > e_{\text{balanced}} = 245,79 \text{ mm}$$

diambil nilai $X = 205,5 \text{ mm}$

$$\varepsilon_s > \varepsilon_y \rightarrow f_s = f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_s = \left(1 - \frac{d'}{x} \right) \cdot 0,003$$

$$= \left(1 - \frac{57,5}{200}\right) \cdot 0,003$$

$$= 0,0021$$

$$\varepsilon_y = \frac{f_s}{E_s}$$

$$\varepsilon_y = \frac{400 \text{ MPa}}{200.000 \text{ MPa}}$$

$$\varepsilon_y = 0,002$$

$\varepsilon_s = 0,0021 > \varepsilon_y = 0,002 \rightarrow$ termasuk tulangan leleh (memenuhi)

$$C_s' = A_s' \cdot (f_y - 0,85 \cdot f_c')$$

$$= 1701,18 \text{ mm} \cdot (400 \text{ N/mm}^2 - 0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2)$$

$$= 644321,925 \text{ N}$$

$$C_c' = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d$$

$$= 0,85 \cdot 25 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 400 \text{ mm} \cdot 342,5 \text{ mm}$$

$$= 2911250 \text{ N}$$

$$T = A_s \cdot f_y$$

$$= 1701,18 \text{ mm} \cdot 400 \text{ N/mm}^2$$

$$= 680.472 \text{ N}$$

$$P = C_c' + C_s' - T$$

$$= 2911250 \text{ N} + 644321,925 \text{ N} - 680472 \text{ N}$$

$$= 2875118,41 \text{ N}$$

$$P = 2875118,41 \text{ N} < P_b = 1448605,913 \text{ N (memenuhi)}$$

$$\Sigma M = 0$$

$$P_b \cdot e_b = C_c' \left(d - d'' - \frac{ab}{2}\right) + C_s'(d - d'' - d') + T \cdot d''$$

$$= 516675291,9 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$$\phi M_n > M_u$$

$$0,8 \times 516675291,9 \text{ Nmm} > 186933006 \text{ Nmm}$$

$$413340233.5 \text{ Nmm} > 186933006 \text{ Nmm} \quad (\text{memenuhi})$$

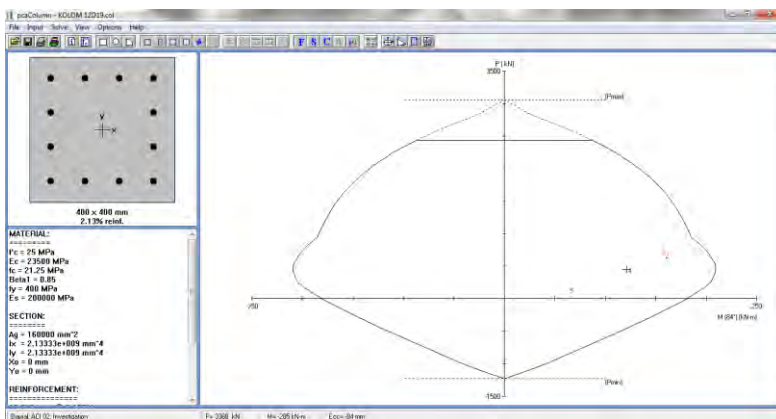
Sehingga pada kolom K-1 dipakai tulangan utama pada kolom sebesar 12D19

Cek dengan program PCACOL

Output dari SAP 2000 diinputkan pada program PCACOL sehingga menghasilkan analisa sebagai berikut :

- Mutu beton (f_c') = 25 N/mm²
- Kuat leleh tulangan lentur (f_y lentur) = 400 N/mm²
- Modulus Elastisitas (E_c) = 23.500 N/mm²
- β_1 = 0,85
- b kolom = 400 mm
- h kolom = 400 mm

Tulangan Kolom Pasang **12 D 19**



Gambar 4. 32. Grafik Akibat Momen pada PCACOL

```

Section:
=====
Rectangular: Width = 400 mm          Depth = 400 mm

Gross section area, Ag = 160000 mm^2
Ix = 2.13333e+009 mm^4              Iy = 2.13333e+009 mm^4
Xo = 0 mm                          Yo = 0 mm

Reinforcement:
=====
Rebar Database: User-defined
Size Diam (mm) Area (mm^2)  Size Diam (mm) Area (mm^2)  Size Diam (mm) Area (mm^2)
-----
# 10      10       71    # 13      13      129    # 16      16      199
# 19      19      284    # 22      22      387    # 25      25      510
# 29      29      645    # 32      32      819    # 36      36     1006
# 43      43     1452    # 57      57     2581

Confinement: Tied; #10 ties with #32 bars, #10 with larger bars.
phi(a) = 0.8, phi(b) = 0.9, phi(c) = 0.65

Layout: Rectangular
Pattern: All Sides Equal (Cover to transverse reinforcement)
Total steel area, As = 3408 mm^2 at 2.13%
12 #19   Cover = 40 mm

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)
=====
No.      Pu      Mux      Muy      fMnx      fMny      fMn/Mu
      kN      kN-m     kN-m     kN-m     kN-m
-----
1      999.9      34.4     126.1     45.5     166.7     1.321
2      689.8      10.6     157.0     13.9     206.9     1.318
3      753.7      21.7     152.7     27.5     193.0     1.264
4      454.5      13.4     120.1     23.1     207.6     1.728
5      147.3       7.2      62.5     22.4     194.4     3.108

*** Program completed as requested! ***

```

Gambar 4. 33. Output PCACOL

Jadi pada perencanaan dipasang tulangan kolom K-1 As 2-B pada lantai 3 sebanyak 12D19.

- Luasan tulangan lentur pasang

$$A_{s_{\text{pasang}}} = n \cdot \text{luas tulangan D19}$$

$$= 12 \cdot 283,53 \text{ mm}^2$$

$$= 3402,36 \text{ mm}^2$$

$$\rho = \frac{A_s}{A_g} = \frac{3402,36 \text{ mm}^2}{(400 \text{ mm} \cdot 400 \text{ mm})} = 0,0212 = 2,12\%$$

Kesimpulan :

Jika kapasitas momen yang dihasilkan oleh analisis program PCACOL lebih besar daripada momen ultimate perhitungan manual (Mu manual) oleh penampang kolom

dan tulangnya, maka perhitungan kebutuhan tulangan kolom memenuhi dalam artian kolom tidak mengalami keruntuhan.

4.6.2. PENULANGAN GESER KOLOM

• Data perencanaan :

- L kolom : 3010 mm
- b kolom : 400 mm
- h kolom : 400 mm
- Kuat tekan beton (f_c') : 25 MPa
- Kuat leleh tulangan lentur (f_y lentur) : 400 MPa
- Kuat leleh tulangan geser (f_y geser) : 240 MPa
- Diameter tulangan lentur (\emptyset lentur) : 19 mm
- Diameter tulangan geser (\emptyset geser) : 8 mm
- Faktor reduksi kekuatan geser (\emptyset) : 0,75

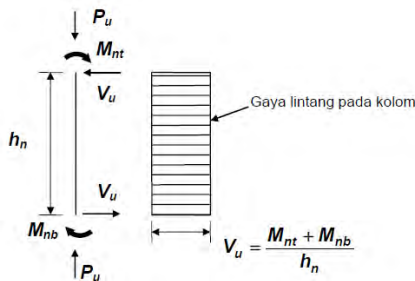
(SNI 03-2847-2002 pasal 11.3.2.(3))

Berdasarkan data output SAP 2000 frame 1182 didapatkan:

- Gaya Aksial Kolom

$$P_u (1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}) : 350149,2 \text{ kg} = 3501492 \text{ N}$$

Gaya lintang rencana pada kolom untuk peninjauan SRPMM harus direncanakan sebagai berikut :



Gambar 4. 34. Gaya Lintang Rencana pada SRPMM

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{h_n}$$

(SNI 03-2847-2002 Pasal 23.10.3)

Dimana :

M_{nt} = Momen nominal atas (top) kolom

M_{nb} = Momen nominal bawah (bottom) kolom

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{M_{nt} + M_{nb}}{h_n} \\ &= 173000 \text{ N} \end{aligned}$$

- Syarat Kuat Tekan Beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 MPa
(SNI 03-2847-2002).

$$\begin{aligned} \sqrt{f_c'} &\leq \frac{25}{3} \\ \sqrt{25 \text{ MPa}} &\leq \frac{25}{3} \text{ MPa} \\ 5 \text{ MPa} &\leq 8,33 \text{ MPa (memenuhi)} \end{aligned}$$

- Kuat Geser Beton

$$\begin{aligned} V_c &= \left[1 + \frac{P_u}{14 \cdot A_g} \right] \cdot \left[\frac{\sqrt{f_c'}}{6} \right] \cdot b_w \cdot d \\ &= 137330.7164 \text{ N} \end{aligned}$$

- Kuat Geser Tulangan Geser

$$\begin{aligned} V_{s_{\min}} &= \frac{1}{3} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{1}{3} \cdot 400 \cdot 342,5 \\ &= 45.666,67 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{s_{\max}} &= \frac{1}{3} \cdot \sqrt{f'c'} \cdot b \cdot d \\
 &= \frac{1}{3} \cdot \sqrt{25 \text{ N/mm}^2} \cdot 400 \text{ mm} \cdot 342,5 \text{ mm} \\
 &= 228.333,33 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2V_{s_{\max}} &= \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f'c'} \cdot b \cdot d \\
 &= \frac{2}{3} \cdot \sqrt{25 \text{ N/mm}^2} \cdot 400 \text{ mm} \cdot 342,5 \text{ mm} \\
 &= 456.666,67 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- Cek Kondisi Geser

Kondisi 1

$V_u \leq 0,5 \cdot \emptyset \cdot V_c \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser
 $173000 \text{ N} \geq 68665.36 \text{ N}$ (Tidak Memenuhi)

Kondisi 2

$0,5 \cdot \emptyset \cdot V_c \leq V_u \leq \emptyset \cdot V_c \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum
 $68665.35818 \text{ N} \leq 173000 \text{ N} \leq 102998.0373 \text{ N}$ (Tidak Memenuhi)

Kondisi 3

$\emptyset \cdot V_c \leq V_u \leq \emptyset \cdot (V_c + V_{s_{\min}}) \rightarrow$ Perlu Tulangan Geser
 $102998.04 \text{ N} \leq 173000 \text{ N} \geq 137248.0373 \text{ N}$ (Tidak Memenuhi)

Kondisi 4

$\emptyset \cdot (V_c + V_{s_{\min}}) \leq V_u \leq \emptyset \cdot (V_c + V_{s_{\max}}) \rightarrow$ Perlu Tulangan Geser
 $137248.034 \text{ N} \leq 173000 \text{ N} \leq 171250 \text{ N}$ (Tidak Memenuhi)

Kondisi 5

$\emptyset \cdot (V_c + V_{smax}) \leq V_u \leq \emptyset \cdot (V_c + 2V_{smax}) \rightarrow$ Perlu Tulangan Geser

$$171250 \text{ N} \leq 173000 \text{ N} \leq 342500.75 \text{ N} \text{ (Memenuhi)}$$

Maka perencanaan penulangan geser kolom diambil berdasarkan **Kondisi 5**.

Direncanakan menggunakan tulangan geser $\emptyset 8$ mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= (0,25 \cdot \pi \cdot d^2) \cdot n \text{ buah} \\ &= (0,25 \cdot \pi \cdot (8 \text{ mm})^2) \cdot 2 \\ &= 100,53 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{perlu})

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_{s \cdot \min}} \\ &= \frac{100,53 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ Mpa} \times 342,5 \text{ mm}}{45666,67 \text{ N}} \\ &= 181,03 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi 5

$$\begin{aligned} S_{\max} &\leq \frac{d}{2} \\ 181,03 \text{ mm} &\geq \frac{342,5 \text{ mm}}{2} \\ 181,03 \text{ mm} &\geq 171,25 \text{ mm} \text{ (tidak memenuhi)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\max} &\leq 600 \text{ mm} \\ 181,03 \text{ mm} &\leq 600 \text{ mm} \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Sehingga dipakai tulangan geser $\emptyset 8 - 200$ mm.

- Cek Persyaratan SRPMM untuk Kekuatan Geser Kolom

- a. Spasi maksimum sengkak ikat yang dipasang pada rentang **Lo** dari muka hubungan balok-kolom **So**. Spasi **So** tersebut tidak boleh melebihi :

(SNI 03-2847-2002 Pasal 23.10.5))

- a) Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil,
 $So \leq 8 \cdot D \text{ lentur}$
 $200 \text{ mm} \leq 8 \cdot 19 \text{ mm}$
 $200 \text{ mm} \leq 152 \text{ mm}$ (tidak memenuhi)
- b) 24 kali diameter sengkang ikat,
 $So \leq 24 \cdot \emptyset \text{ sengkang}$
 $200 \text{ mm} \leq 24 \cdot 8 \text{ mm}$
 $200 \text{ mm} \leq 192 \text{ mm}$ (tidak memenuhi)
- c) Setengah dimensi penampang terkecil komponen struktur,
 $So \leq \frac{1}{2}bw$
 $200 \text{ mm} \leq \frac{1}{2}400 \text{ mm}$
 $200 \text{ mm} \leq 200 \text{ mm}$ (memenuhi)
- d) $So \leq 300 \text{ mm}$
 $200 \leq 300 \text{ mm}$ (memenuhi)

Kontrol syarat penulangan geser tidak memenuhi, maka S_{pakai} menggunakan jarak minimum kontrol yaitu $152 \text{ mm} \approx 150 \text{ mm}$.

Maka, dipakai So sebesar $\emptyset 8 - 150 \text{ mm}$.

Panjang **Lo** tidak boleh kurang daripada nilai terbesar berikut ini :

- a) Seperenam tinggi bersih kolom,
 $Lo = \frac{1}{6}(3010 - 400) \text{ mm}$
 $Lo = \frac{1}{6}(2610) \text{ mm}$
 $Lo = 435 \text{ mm}$
- b) Dimensi terbesar penampang kolom
 $Lo = 400 \text{ mm}$
- c) $Lo > 500 \text{ mm}$

Maka dipakai L_o sebesar $433,33 \text{ mm} \approx 500 \text{ mm}$
 Sehingga di pasang sengkang sebesar $\varnothing 8 - 150 \text{ mm}$
 sejarak 500 mm dari muka hubungan balok kolom.

- b.* Sengkang ikat pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada $0,5 \cdot S_o = 0,5 \cdot 150 \text{ mm} = 75 \text{ mm}$ dari muka hubungan balok-kolom.
- c.* Spasi sengkang ikat pada seberang penampang kolom tidak boleh melebihi $2 \cdot S_o = 2 \cdot 150 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$.

Maka pada daerah setelah sejarak $L_o = 500 \text{ mm}$ dari muka hubungan balok kolom tetap di pasang sengkang sebesar $\varnothing 8 - 150 \text{ mm}$.

4.3.2.1 Perhitungan Sambungan Lewatan Tulangan Vertikal Kolom

Panjang lewatan minimum untuk sambungan lewatan tekan adalah $0,07 \cdot f_y \cdot d_b$, untuk $f_y = 400 \text{ MPa}$ atau kurang, tetapi tidak kurang dari 300 mm . (*SNI 03-2847-2002 Pasal 14.16.1*)

$$0,07 \cdot f_y \cdot d_b \geq 300 \text{ mm}$$

$$0,07 \cdot 400 \cdot 19 \geq 300 \text{ mm}$$

$$532 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

maka panjang sambungan lewatan kolom sebesar 535 mm

4.3.2.2 Panjang Penyaluran Tulangan Kolom

Berdasarkan *SNI 03-2847-2002 Pasal 14.2.(3)*, panjang penyaluran untuk tulangan D19 harus di ambil sebesar :

Tabel 4. 11. Panjang Penyaluran tulangan kolom kondisi tarik

	Batang D-19 dan lebih kecil atau kawat ulir	Batang D-22 atau lebih besar
Spasi bersih batang-batang yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari d_b , selimut beton bersih tidak kurang dari d_b , dan sengkang atau sengkang ikat yang dipasang di sepanjang l_d tidak kurang dari persyaratan minimum sesuai peraturan	$\frac{l_d}{d_b} = \frac{12 f_y \alpha \beta \lambda}{25 \sqrt{f'_c}}$	$\frac{l_d}{d_b} = \frac{3 f_y \alpha \beta \lambda}{5 \sqrt{f'_c}}$
atau Spasi bersih batang-batang yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut beton bersih tidak kurang dari d_b		
Kasus-kasus lain	$\frac{l_d}{d_b} = \frac{18 f_y \alpha \beta \lambda}{25 \sqrt{f'_c}}$	$\frac{l_d}{d_b} = \frac{9 f_y \alpha \beta \lambda}{10 \sqrt{f'_c}}$

$$\frac{l_d}{d_b} = \frac{18 f_y}{25 \sqrt{f'_c}} \cdot \frac{\alpha \beta \gamma \lambda}{\left(\frac{c + K_{tr}}{d_b} \right)}$$

Dimana,

l_d = panjang penyaluran tulangan kondisi tarik

β = faktor pelapis

d_b = diameter tulangan lentur yang dipakai

α = faktor lokasi penulangan

c = spasi atau dimensi selimut beton

K_{tr} = indeks tulangan transversal, sebagai penyederhanaan perencanaan, diperbolehkan mengasumsikan $K_{tr} = 0$ bahkan untuk kondisi dimana tulangan transversal dipasang.

Tabel 4. 12. Harga Indeks Penyaluran Tulangan

α = faktor lokasi penulangan	
Tulangan horizontal yang ditempatkan sedemikian hingga lebih dari 300 mm beton segar dicor pada komponen di bawah panjang penyaluran atau sambungan yang ditinjau	1,3
Tulangan lain	1,0
β = faktor pelapis	
Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi dengan selimut beton kurang dari $3d_b$, atau spasi bersih kurang dari $6d_b$	1,5
Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi lainnya	1,2
Tulangan tanpa pelapis	1,0

(SNI 03-2847-2002 Pasal 14.2.4)

 λ = faktor beton agregat ringan γ = faktor ukuran batang tulangan**Tabel 4. 13. Harga Indeks Penyaluran Tulangan**

γ = faktor ukuran batang tulangan	
Batang D-19 atau lebih kecil dan kawat ulir	0,8
Batang D-22 atau lebih besar	1,0
λ = faktor beton agregat ringan	
Apabila digunakan beton agregat ringan	1,3
Walaupun demikian, apabila f_{cr} disyaratkan, maka λ boleh diambil sebesar $\sqrt{f_{cr}} / (1,8f_{cr})$ tetapi tidak kurang dari	1,0
Apabila digunakan beton berat normal	1,0

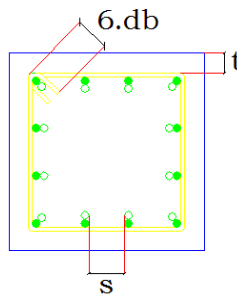
(SNI 03-2847-2002 Pasal 14.2.4)

$$\frac{l_d}{d_b} = \frac{18.400}{25\sqrt{25}} \times \frac{1.1,5.0,8.1}{\left(\frac{40+0}{19}\right)}$$

$$\frac{l_d}{d_b} = 57,6.0,57$$

$$l_d = 57,6.0,57.19$$

$$l_d = 623,8 \text{ mm} \approx 625 \text{ mm}$$

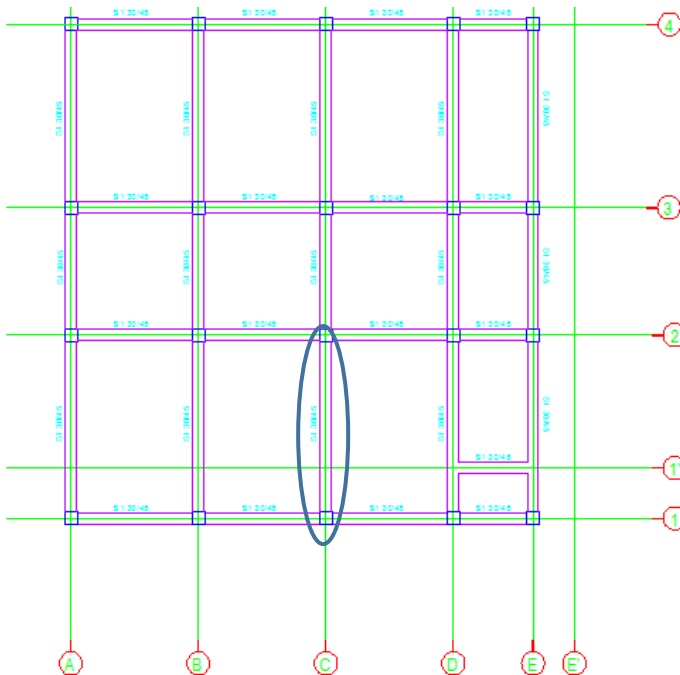
**Gambar 4. 35. Penulangan Kolom**

4.7. PERHITUNGAN PENULANGAN SLOOF

Untuk perhitungan sloof ini didapat dari analisa struktur SAP 2000 dengan daerah tinjauan frame 24 karena bentang portal yang ditinjau yang memiliki momen terbesar dengan kombinasi 1,2D + 1Ex + 1L.

Data Perencanaan Sloof :

- Tipe sloof : S1 (30/45)
- As sloof : C,1-2
- Bentang sloof : 5750 mm
- Lebar sloof (b sloof) : 300 mm
- Tinggi sloof (h sloof) : 450 mm
- Kuat tekan beton (f_c') : 25 MPa
- Kuat leleh tulangan lentur (f_y lentur) : 400 MPa
- Kuat leleh tulangan geser (f_y geser) : 240 MPa
- Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt}) : 400 MPa
- Diameter tulangan lentur (D lentur) : 19 mm
- Diameter tulangan geser (\emptyset geser) : 10 mm
- Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar) : 40 mm
(SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.3)
- Tebal selimut beton (decking) : 75 mm
(SNI 03-2847-2002 pasal 7.7.1.a)
- Faktor β_1 : 0,85
(SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.3)
- Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ) : 0,8
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.7.a)
- Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) : 0,75
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3)



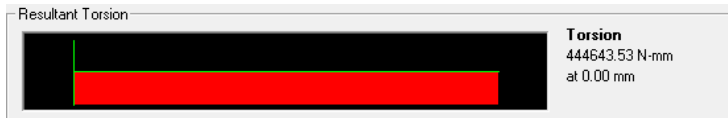
Gambar 4. 36. Denah Sloof yang Ditinjau

Berdasarkan data momen terbesar pada output SAP 2000 frame 24 dengan kombinasi $1,2D + 1L + 1Ex + 0,3Ey$ didapatkan :



M_u : 120.616.301 Nmm

Berdasarkan data torsi terbesar pada output SAP 2000 frame 24 dengan kombinasi $1,2D + 1L + 1Ex + 0,3Ey$ didapatkan :



Tu : 444.463,53 Nmm

Perhitungan Momen Nominal

$$M_n = \frac{Mu}{\phi}$$

$$M_n = \frac{120616301 \text{ Nmm}}{0,8}$$

$$M_n = 150.770.376,3 \text{ Nmm}$$

Perhitungan Beban Aksial Kolom

Gaya normal (N) pada sloof adalah 10% dari gaya aksial terbesar pada kolom yang menjepit di kanan dan kiri balok sloof.

Pu dari kolom kiri

$$\begin{aligned} \text{Pkombinasi 1} &= 1.4D \\ &= 725.129,05 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pkombinasi 2} &= D + L \\ &= 623.442,99 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pkombinasi 3} &= 1.2D + 1.6 L \\ &= 790.239,05 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pkombinasi 4} &= 1.2D + 1W + 1L + 0.5R \\ &= 724.609,26 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pkombinasi 5} &= 1.2D + 1Ex + 1L \\ &= 639.346,04 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pkombinasi 6} &= 1.2D + 1Ey + 1L \\ &= 693.476,29 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pkombinasi 7} &= 0.9D + 1W \\ &= 463.730,8 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pkombinasi 8} &= 0.9D + 1Ex \\ &= 378.467,57 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pkombinasi 9} &= 0.9D + 1Ey \\ &= 432.597,83 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\text{Pkombinasi 10} = 1.2D + 1L + 1Ex + 0.3Ey$$

$$\begin{aligned}
 &= 629.279,07 \text{ N} \\
 \text{Pkombinasi 11} &= 1.2D + 1L + 0.3E_x + 1E_y \\
 &= 667.170,25 \text{ N} \\
 \text{Pkombinasi 12} &= 1.2D + 1L \\
 &= 445.254 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Pu dari kolom kanan

$$\begin{aligned}
 \text{Pkombinasi 1} &= 1.4D \\
 &= 935.937,59 \text{ N} \\
 \text{Pkombinasi 2} &= D + L \\
 &= 831.565,9 \text{ N} \\
 \text{Pkombinasi 3} &= \mathbf{1.2D + 1.6 L} \\
 &= \mathbf{1.063.094,7 \text{ N}} \\
 \text{Pkombinasi 4} &= 1.2D + 1W + 1L + 0.5R \\
 &= 963.695,58 \text{ N} \\
 \text{Pkombinasi 5} &= 1.2D + 1E_x + 1L \\
 &= 914.475,28 \text{ N} \\
 \text{Pkombinasi 6} &= 1.2D + 1E_y + 1L \\
 &= 944.841,6 \text{ N} \\
 \text{Pkombinasi 7} &= 0.9D + 1W \\
 &= 600.098,48 \text{ N} \\
 \text{Pkombinasi 8} &= 0.9D + 1E_x \\
 &= 550.878,17 \text{ N} \\
 \text{Pkombinasi 9} &= 0.9D + 1E_y \\
 &= 581.244,49 \text{ N} \\
 \text{Pkombinasi 10} &= 1.2D + 1L + 1E_x + 0.3E_y \\
 &= 908.346,38 \text{ N} \\
 \text{Pkombinasi 11} &= 1.2D + 1L + 0.3E_x + 1E_y \\
 &= 929.602,8 \text{ N} \\
 \text{Pkombinasi 12} &= 1.2D + 1L \\
 &= 592.823,08 \text{ N}
 \end{aligned}$$

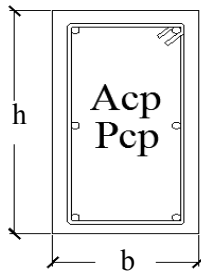
Dari kedua beban aksial tersebut, diambil yang terbesar yaitu $P = 1.063.094,7 \text{ N}$

Sehingga gaya normal yang terjadi pada sloof :

$$\begin{aligned}
 N &= 10\% \cdot P \text{ kolom} \\
 &= 0,1 \cdot 1.063.094,7 \text{ N} \\
 &= 106.309,47 \text{ N}
 \end{aligned}$$

4.7.1. PENULANGAN TORSI SLOOF

Ukuran penampang balok yang dipakai 35/50



Gambar 4. 37. Gambar luasan Acp dan keliling Pcp

Luasan penampang dibatasi sisi luar

$$\begin{aligned}
 A_{cp} &= b \cdot h \\
 &= 300 \text{ mm} \cdot 450 \text{ mm} \\
 &= 135.000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi sisi luar

$$\begin{aligned}
 P_{cp} &= 2 \cdot (b + h) \\
 &= 2 \cdot (300 \text{ mm} + 450 \text{ mm}) \\
 &= 1.500 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 A_{oh} &= (b - 2 \cdot t_{dekcing} - \phi_{geser}) \cdot (h - 2 \cdot t_{dekcing} - \phi_{geser}) \\
 &= (300 \text{ mm} - 2 \cdot 75 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) \\
 &\quad \cdot (450 \text{ mm} - 2 \cdot 75 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) \\
 &= 40.600 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$A_o = 0,85 \cdot A_{oh}$$

$$= 0,85 \cdot 40.600 \text{ mm}^2$$

$$= 34.510 \text{ mm}^2$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$P_h = 2 \cdot ((b - 2 \cdot t_{\text{dekking}} - \phi_{\text{geser}}) + (h - 2 \cdot t_{\text{dekking}} - \phi_{\text{geser}}))$$

$$= 2 \cdot ((300 \text{ mm} - 2 \cdot 75 \text{ mm} - 10 \text{ mm})$$

$$+ (450 \text{ mm} - 2 \cdot 75 \text{ mm} - 10 \text{ mm}))$$

$$= 860 \text{ mm}$$

Tinggi Efektif

$$d = h - t_{\text{dekking}} - \phi_{\text{tul.sengkang}} - \frac{1}{2} \phi_{\text{tul.lentur}}$$

$$= 450 \text{ mm} - 75 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - \frac{1}{2} \cdot 19 \text{ mm}$$

$$= 335.5 \text{ mm}$$

Cek Pengaruh Tulangan Puntir

$$Tu_{\min} = \frac{\phi \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)}{12}$$

(SNI 03-2847-2002 Pasal 13.6.1(a))

$$Tu_{\min} = \frac{0.75 \sqrt{25 \text{ N/mm}^2} \left(\frac{(135000 \text{ mm}^2)^2}{1500 \text{ mm}} \right)}{12}$$

$$Tu_{\min} = 3.796.875 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$Tu_{\min} \geq Tu \rightarrow$ Tulangan puntir diabaikan

$Tu_{\min} \leq Tu \rightarrow$ Tulangan puntir tidak diabaikan

$$Tu_{\min} = 3.796.875 \text{ Nmm} \geq Tu = 444.463,53 \text{ Nmm}$$

Maka tulangan torsi diabaikan

4.7.2. PENULANGAN LENTUR SLOOF

$$P_n = 106.309,47 \text{ N}$$

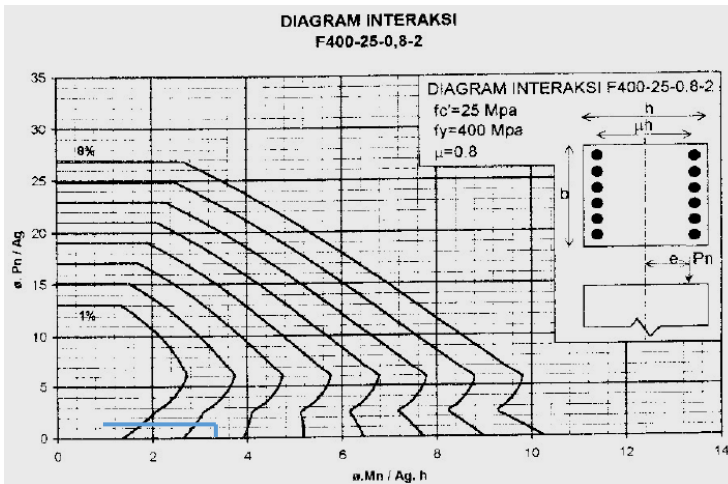
$$M_n = 150.770.376,3 \text{ Nmm}$$

Sumbu Horizontal

$$\frac{\phi M_n}{b \cdot h^2} = \frac{150770376,3 \text{ Nmm}}{300 \text{ mm} \cdot (450 \text{ mm})^2} = 2,48 \text{ N/mm}^2$$

Sumbu Vertikal

$$\frac{\phi P_n}{b \cdot h} = \frac{106309,47 \text{ N}}{300 \text{ mm} \cdot 450 \text{ mm}} = 0,79 \text{ N/mm}^2$$



Gambar 4. 38. Diagram Interaksi F-400-25-0,8-2

Maka didapatkan $\rho_{\text{perlu}} = 1\% = 0,01$

Menghitung Penulangan Sloof

Luas Tulangan Lentur Perlu

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{perlu}}} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot h \\ &= 0,01 \cdot 300 \text{ mm} \cdot 450 \text{ mm} \\ &= 1350 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas Tulangan Lentur

$$\begin{aligned} \text{luas tulangan D19} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2 \end{aligned}$$

$$= 283,38 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Pasang

$$\begin{aligned} n &= \frac{As_{\text{perlu}}}{\text{luas tulangan D19}} \\ &= \frac{1350 \text{ mm}^2}{283,38 \text{ mm}^2} \\ &= 4,76 \approx 6 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Pasang

$$\begin{aligned} As_{\text{pasang}} &= n \cdot \text{luas tulangan D20} \\ &= 6 \cdot 283,4 \text{ mm}^2 \\ &= 1700,31 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol

$$As_{\text{pasang}} = 1700,31 \text{ mm}^2 > As_{\text{perlu}} = 1350 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Jadi, dipakai 6D19, As pasang 1700 mm²

Cek Jarak Spasi Tulangan

Syarat :

$$S_{\text{max}} \geq S_{\text{sejajar}} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{max}} \leq S_{\text{sejajar}} \rightarrow \text{perbesar penampang kolom}$$

Direncanakan dipakai tulangan tarik 1 lapis 3D19 dan tulangan tekan 1 lapis 3D19

Kontrol Tulangan Tarik

$$S_{\text{max}} = \frac{b - (2 \cdot t_{\text{decking}}) - (2 \cdot \phi_{\text{geser}}) - (n_{\text{pasang 1 sisi}} \cdot D_{\text{lentur}})}{n_{\text{pasang 1 sisi}} - 1}$$

$$S_{\text{max}} = \frac{300 \text{ mm} - (2 \cdot 75 \text{ mm}) - (2 \cdot 10 \text{ mm}) - (3 \cdot 19 \text{ mm})}{3 - 1}$$

$$S_{\text{max}} = 37 \text{ mm}$$

$$S_{\text{max}} = 37 \text{ mm} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)}$$

Kontrol Tulangan Tekan

$$S_{\max} = \frac{b - (2 \cdot t_{\text{decking}}) - (2 \cdot \phi_{\text{geser}}) - (n_{\text{pasang 1 sisi}} \cdot D_{\text{lentur}})}{n_{\text{pasang 1 sisi}} - 1}$$

$$S_{\max} = \frac{300 \text{ mm} - (2 \cdot 75 \text{ mm}) - (2 \cdot 10 \text{ mm}) - (3 \cdot 19 \text{ mm})}{3 - 1}$$

$$S_{\max} = 37 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 37 \text{ mm} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)}$$

Tinggi sloof gaya tekan sloof

$$a = \frac{A_s \text{ pasang} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b}$$

$$a = \frac{1984 \text{ mm}^2 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \text{ MPa} \cdot 350}$$

$$a = 106,69 \text{ mm}$$

Gaya Tekan Beton

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a \\ &= 0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2 \cdot 300 \text{ mm} \cdot 106,69 \text{ mm} \\ &= 680.124 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek Momen Nominal Penampang

$$\begin{aligned} M_{n\text{pasang}} &= C_c' \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 680.124 \text{ N} \cdot \left(355,5 - \frac{106,69 \text{ mm}}{2} \right) \\ &= 205.504.187,46 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Kontrol kekuatan penampang

$$\begin{aligned} \phi M_{n\text{pasang}} &> M_u \\ 0,8 \cdot 205.504.187,46 \text{ N.mm} &> 120.616.301 \text{ N.mm} \\ 164.403.350 \text{ N.mm} &> 120.616.301 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Jadi, penulangan lentur untuk sloof 30/45 dipakai tulangan tarik 1 lapis 3D19 dan tulangan tekan 1 lapis 3D19.

4.7.3. PENULANGAN GESER SLOOF

Data perencanaan sloof sebagai berikut :

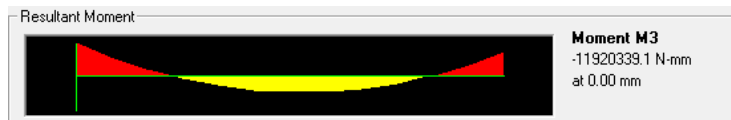
L sloof	= 5750 mm
b sloof	= 300 mm
h sloof	= 450 mm
Kuat tekan beton (f_c')	= 25 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_y geser)	= 240 MPa
Diameter tulangan lentur (ϕ lentur)	= 19 mm
Diameter tulangan geser (ϕ geser)	= 10 mm
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	= 0,75

(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3)

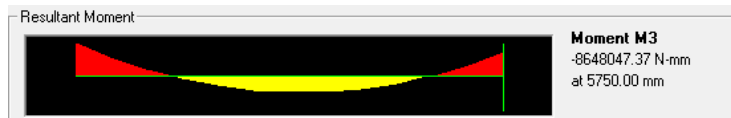
$$\begin{aligned}
 d &= h - t_{\text{decking}} - \phi_{\text{tul.sengkan}} - \frac{1}{2} \phi_{\text{tul.lentur}} \\
 &= 450 \text{ mm} - 75 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - \frac{1}{2} \cdot 19 \text{ mm} \\
 &= 355,5 \text{ mm} \\
 d' &= \text{decking} + \phi_{\text{tul.sengkan}} + \frac{1}{2} \phi_{\text{tul.lentur}} \\
 &= 75 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + (\frac{1}{2} \cdot 19 \text{ mm}) \\
 &= 94,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil analisa SAP 2000 otput dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1,2D + 1L didapatkan :

Gaya Momen

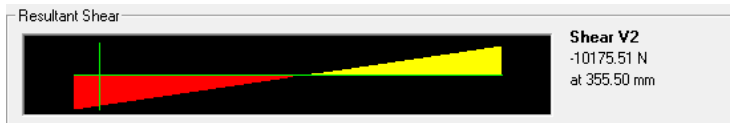


$$M_{n\text{-kiri}} (M_{nl}) = 11.920.339,1 \text{ Nmm}$$



$$M_{n\text{-kanan}} (M_{nr}) = 8.648.047,37 \text{ Nmm}$$

Gaya Geser Terfaktor



$$V_u = 10.175,51 \text{ N}$$

(Dimana V_u diambil sejarak $d = 355,5 \text{ mm}$)

(SNI 03-2847-2013 pasal 11.1.3.1)

Syarat kuat tekan beton :

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi $8,3 \text{ MPa}$ [SNI 03-2847-2013 pasal 11.1.2]

$$\sqrt{f_c'} < 8,3$$

$$\sqrt{25} < 8,3$$

$$5 < 8,3 \text{ (memenuhi)}$$

Kuat geser beton

(SNI 03-2847-2002 pasal 13.3.1.1)

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{25 \text{ N/mm}^2} \cdot 300 \text{ mm} \cdot 355,5 \text{ mm} \\ &= 88.875 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat Geser Tulangan Geser

$$\begin{aligned} V_{s_{\min}} &= \frac{1}{3} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{1}{3} \cdot 300 \text{ mm} \cdot 355,5 \text{ mm} \\ &= 35.550 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s_{\max}} &= \frac{1}{3} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{1}{3} \cdot \sqrt{25 \text{ N/mm}^2} \cdot 300 \text{ mm} \cdot 355,5 \text{ mm} \\ &= 177.750 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2.V_{s_{\max}} &= \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{2}{3} \cdot \sqrt{25 \text{ N/mm}^2} \cdot 300 \text{ mm} \cdot 355,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$= 355.500 \text{ N}$$

Gaya geser pada ujung perletakan diperoleh dari :

$$\begin{aligned} V_{u1} &= \frac{M_{nl} + M_{nr}}{L_n} + \frac{W_u \cdot L_n}{2} \\ &= \frac{M_{nl} + M_{nr}}{L_n} + V_u \end{aligned}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.6.2)

Dimana :

V_{u1} = Gaya geser pada muka perletakan

M_{nl} = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

M_{nr} = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

L_n = Panjang balok bersih

$$\begin{aligned} V_{u1} &= \frac{M_{nl} + M_{nr}}{L_n} + V_{u \text{ tumpuan}} \\ &= \frac{11920339,1 \text{ Nmm} + 8.648.047,37 \text{ Nmm}}{5750 \text{ mm}} + 10.175,51 \text{ N} \\ &= 13.752,62 \text{ N} \end{aligned}$$

Pembagian Wilayah Geser Sloof

Wilayah geser sloof dibagi menjadi 2 wilayah, yaitu :

- Wilayah tumpuan seperempat bentang bersih balok dari muka kolom.
- Wilayah lapangan dimulai dari akhir wilayah tumpuan sampai ke tengah bentang balok.



Gambar 4. 39. Diagram Gaya Geser Pada Sloof

Penulangan Geser Sloof

Pada wilayah tumpuan

$$V_{u1} = 13.752,62 \text{ N}$$

Cek kondisi :

Kondisi 1

$$V_u \leq 0,5 \cdot \phi \cdot V_c \rightarrow \text{Tidak Perlu Tulangan Geser}$$

$$13.752,62 \text{ N} \leq 0,5 \cdot 0,75 \cdot 88.875 \text{ N}$$

$$13.752,62 \text{ N} \leq 33.328,125 \text{ N} \quad \textbf{(memenuhi)}$$

Kondisi 2

$$0,5 \cdot \phi \cdot V_c \leq V_u \leq \phi \cdot V_c \rightarrow \text{Tulangan Geser Minimum}$$

$$0,5 \cdot 0,75 \cdot 88.875 \text{ N} \leq 13.752,62 \text{ N} \leq 0,75 \cdot 88.875 \text{ N}$$

$$33.328,125 \text{ N} \leq 13.752,62 \text{ N} \leq 66.656,25 \text{ N} \quad \textbf{(memenuhi)}$$

Karena pada perencanaan penulangan geser sloof pada Kondisi 1 sudah memenuhi maka tidak perlu tulangan geser, tetapi pada perencanaan tugas akhir ini menggunakan tulangan geser minimum.

$$\text{Dipakai } S = d/4 = 355.5 \text{ mm}/4 = 88,875 \text{ mm}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Berdasarkan Kondisi 1

$$S_{maks} \leq \frac{d}{2}$$

$$88,875 \text{ mm} \leq \frac{355,5 \text{ mm}}{2}$$

$$88,875 \text{ mm} \leq 171,25 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)}$$

$$S_{maks} \leq 600 \text{ mm}$$

$$88,88 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)}$$

Senggang harus dispasikan tidak lebih dari $d/2$ sepanjang balok.

(SNI 03-2847-2013 Pasal 23.3.4.3)

Dipakai tulangan geser $\varnothing 8 - 80 \text{ mm}$

Cek Persyaratan SRPMM untuk Kekuatan Geser Sloof

Cek persyaratan berdasarkan (SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.2) pada kedua ujung komponen harus dipasang sengkang sepanjang panjang tidak kurang dari $2h$ diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama harus ditempatkan pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu.

5. Seperempat tinggi efektif

$$S_o \leq d/4$$

$$80 \text{ mm} \leq 355,5 \text{ mm}/4$$

$$80 \text{ mm} \leq 88,875 \text{ mm}$$

(memenuhi)

6. Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil,

$$S_o \leq 8 \cdot D \text{ lentur}$$

$$80 \text{ mm} \leq 8 \cdot 19 \text{ mm}$$

$$80 \text{ mm} \leq 152 \text{ mm}$$

(memenuhi)

7. 24 kali diameter sengkang,

$$S_o \leq 24 \cdot \varnothing \text{ sengkang}$$

$$80 \text{ mm} \leq 24 \cdot 10 \text{ mm}$$

$$80 \text{ mm} \leq 240 \text{ mm}$$

(memenuhi)

8. $S_o \leq 300 \text{ mm}$

$$80 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm}$$

(memenuhi)

Kontrol syarat penulangan geser memenuhi, maka S_{pakai} menggunakan jarak $88,875 \text{ mm} \approx 80 \text{ mm}$.

Sehingga dipasang $\varnothing 10 - 80 \text{ mm}$ dengan sengkang 2 kaki.

seperempat bentang bersih balok. Senggang pertama dipasang \leq 50 mm dari muka kolom.

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.2)

Pada wilayah lapangan

$$\begin{aligned} V_{u2} &= \frac{V_{u1} \times \left(\frac{1}{2}Ln - 2h \right)}{\frac{1}{2}Ln} \\ &= \frac{13752,62 \text{ N} \times \left(\frac{1}{2} \cdot 5750 \text{ mm} - 2.450 \right)}{\frac{1}{2} \cdot 5750 \text{ mm}} \\ &= 9.447,45 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek kondisi :

Kondisi 1

$V_u \leq 0,5 \cdot \emptyset \cdot V_c \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser

$$9.447,45 \text{ N} \leq 0,5 \cdot 0,75 \cdot 88.875 \text{ N}$$

$$9.447,45 \text{ N} \leq 33.328,125 \text{ N} \quad \textbf{(memenuhi)}$$

Kondisi 2

$0,5 \cdot \emptyset \cdot V_c \leq V_u \leq \emptyset \cdot V_c \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

$$0,5 \cdot 0,75 \cdot 88.875 \text{ N} \leq 9.447,45 \text{ N} \leq 0,75 \cdot 88.875 \text{ N}$$

$$33.328,125 \text{ N} \leq 9.447,45 \text{ N} \leq 66.656,25 \text{ N} \quad \textbf{(memenuhi)}$$

Karena pada perencanaan penulangan geser sloof pada Kondisi 1 sudah memenuhi maka tidak perlu tulangan geser, tetapi pada perencanaan tugas akhir ini menggunakan tulangan geser minimum.

Maka tidak perlu tulangan geser.

$$\text{Dipakai } S = d/2 = 355.5 \text{ mm}/2 = 177,75 \text{ mm}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Berdasarkan Kondisi 1

$$S_{maks} \leq 600 \text{ mm}$$

$$175,75 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)}$$

Senggang harus dispasikan tidak lebih dari $d/2$ sepanjang balok.

(SNI 03-2847-2013 Pasal 23.3.4.3)

Dipakai tulangan geser $\varnothing 8 - 150 \text{ mm}$

Cek Persyaratan SRPMM untuk Kekuatan Geser Sloof

Cek persyaratan berdasarkan (SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.2) pada kedua ujung komponen harus dipasang sengkang sepanjang panjang tidak kurang dari $2h$ diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama harus ditempatkan pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi sengkang tidak boleh melebihi dari yang di syaratkan.

Seperempat tinggi efektif

1. $S_o \leq d/4$

$$150 \text{ mm} \leq 355,5 \text{ mm}/4$$

$$150 \text{ mm} \leq 177,75 \text{ mm} \quad (\text{tidak memenuhi})$$

2. Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil,

$$S_o \leq 8 \cdot D \text{ lentur}$$

$$150 \text{ mm} \leq 8 \cdot 19 \text{ mm}$$

$$150 \text{ mm} \leq 152 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

3. 24 kali diameter sengkang,

$$S_o \leq 24 \cdot \varnothing \text{ sengkang}$$

$$150 \text{ mm} \leq 24 \cdot 10 \text{ mm}$$

$$150 \text{ mm} \leq 240 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

4. $S_o \leq 300 \text{ mm}$

$$150 \leq 300 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol syarat penulangan geser memenuhi, maka S_{pakai} menggunakan jarak $177,75 \text{ mm} \approx 150 \text{ mm}$.

Sehingga dipasang $\varnothing 10 - 150 \text{ mm}$ dengan sengkang 2 kaki.

4.7.4. PANJANG PENYALURAN TULANGAN SLOOF

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan. Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan *SNI 03-2847-2013 pasal 12*.

Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tarik

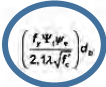
Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan
(*SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.2*)

Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm.

(*SNI 03-2847-2002 Pasal 12.2.1*)

Untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dapat dihitung berdasarkan *SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.2* sebagai berikut :

Tabel 4. 14. Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir

	Batang tulangan atau kawat ulir D-19 dan yang lebih kecil	Batang tulangan D-22 dan yang lebih besar
Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari d_b , selimut bersih tidak kurang dari d_b , dan sengkang atau pengikat sepanjang ℓ_d tidak kurang dari minimum Tata Cara atau Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut bersih tidak kurang dari d_b		$\left(\frac{f_y \Psi_s \Psi_e}{1.7\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$
Kasus-kasus lain	$\left(\frac{f_y \Psi_s \Psi_e}{1.4\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left(\frac{f_y \Psi_s \Psi_e}{1.1\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$

(*SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.2*)

Dimana :

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$\Psi_t = 1,3$$

(*SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.4.a*)

$$\Psi_e = 0,8$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.4.c)

$$\lambda = 1 \text{ (beton normal)}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.4.d)

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$d_b = 19 \text{ mm}$$

$$\left(\frac{f_y \cdot \Psi_t \cdot \Psi_e}{2,1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'}} \right) = \frac{\lambda d}{d_b} \geq 300 \text{ mm}$$

$$\left(\frac{400 \cdot 1,3 \cdot 0,8}{2,1 \cdot 1 \cdot \sqrt{25}} \right) = \frac{\lambda d}{19 \text{ mm}} \geq 300 \text{ mm}$$

$$\lambda_d = 752,8 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm} \quad \text{(memenuhi)}$$

$$A_{s\text{perlu}} = 1350 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{pasang}} = 1700,31 \text{ mm}^2$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\lambda_{d\text{ reduksi}} = \frac{A_{s\text{ perlu}}}{A_{s\text{ terpasang}}} \cdot \lambda_d$$

$$\begin{aligned} \lambda_{d\text{ reduksi}} &= \frac{1350 \text{ mm}^2}{1984 \text{ mm}^2} \cdot 752,8 \text{ mm} \\ &= 597,67 \text{ mm} \approx 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 600 mm

Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tekan

Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.**

Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan tidak boleh kurang dari 200 mm.

(SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.1)

$$\left(\frac{0,24 \cdot f_y}{\lambda \cdot \sqrt{f_c'}} \right) = \frac{\lambda d}{d_b} \geq 200 \text{ mm}$$

$$\left(\frac{0,24 \cdot 400}{1 \cdot \sqrt{25}} \right) = \frac{\lambda d}{19 \text{ mm}} \geq 200 \text{ mm}$$

$$\lambda_d = 364,8 \text{ mm} \geq 200 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)}$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned} \lambda_{d \text{ reduksi}} &= \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ terpasang}} \times \lambda_d \\ &= \frac{1350 \text{ mm}^2}{1700,31 \text{ mm}^2} \times 364,8 \text{ mm} \\ &= 289,6 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan 300 mm.

Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tarik

Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5.**

Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 150 mm.

(SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5.1)

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$\psi_e = 1,2$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5.2.)

$$\lambda = 0,75 \text{ (beton normal)}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5.2.)

$$\left(\frac{0,24 \cdot \psi_e \cdot f_y}{\lambda \cdot \sqrt{f_c'}} \right) = \frac{\lambda d}{db} \geq 150 \text{ mm}$$

$$\left(\frac{0,24 \cdot 1,2 \cdot 400}{0,75 \cdot \sqrt{25}} \right) = \frac{\lambda d}{19 \text{ mm}} \geq 150 \text{ mm}$$

$$\lambda_d = 583,68 \text{ mm} \geq 150 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)}$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}
 \lambda_{d \text{ reduksi}} &= \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ terpasang}} \times \lambda_{hb} \\
 &= \frac{1350 \text{ mm}^2}{1700,31 \text{ mm}^2} \times 583,68 \text{ mm} \\
 &= 463,4 \text{ mm} \approx 465 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik 465 mm.

Untuk panjang kait dengan D22 ditambah perpanjangan $12d_b$ pada penulangan sloof

(SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5.1)

$$\begin{aligned}
 12d_b &= 12 \cdot 19 \text{ mm} \\
 &= 228 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Untuk pembengkokan tulangan sengkang sebagai berikut :

(SNI 03-2847-2002 Pasal 7.2.2)

Tabel 4. 15. Diameter Pembengkokan Tulangan

Ukuran batang tulangan	Diameter minimum
D-10 sampai D-25	$6d_b$
D-29, D-32, dan D-36	$8d_b$
D-44 dan D-56	$10d_b$

$$\begin{aligned}
 6 \cdot d_b &= 6 \cdot 19 \text{ mm} \\
 &= 114 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jadi penulangan sloof (30/45), As C,1-2 adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 16. Penulangan Sloof

PENULANGAN SLOOF				
	KOMBINASI	SLOOF		
TULANGAN TORSI		TIDAK MEMERLUKAN TUL.TORSI		
TULANGAN LENTUR	1.2D + 1L + 0.3Ex + 1Ey			
tulangan tarik		3	D20	
tulangan tekan		3	D20	
TULANGAN GESER	1.2D + 1L			
wilayah tumpuan		Ø10 -	80	
wilayah lapangan		Ø10 -	150	
PANJANG PENYALURAN				
penyaluran tarik		600	mm	
penyaluran tekan		290	mm	
penyaluran berkait tarik		465	mm	
penyaluran kait	12 . db	228	≈	230 mm

4.8. PERHITUNGAN TIANG PANCANG DAN POER

. Data Perencanaan :

- Kedalaman tiang pancang : 12 m
- Diameter tiang pancang : 40 cm
- Keliling tiang pancang : $= \pi \cdot d$
 (Kel_{tp}) $= \pi \cdot 40 \text{ cm}$
 $= 125.714 \text{ cm}$
- Luas tiang pancang (A_{tp}) : $= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$
 $= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (40 \text{ cm})^2$
 $= 1257.143 \text{ cm}^2$
- Tebal selimut beton : 75 mm
 (SNI 03-2847-2002 Pasal 9.7.1.a)
- Mutu beton (f_{c'}) :-Poer = 25 MPa
- Mutu baja :-Poer = 400 MPa

4.8.1. PERHITUNGAN TIANG PANCANG DAN POER

Daya dukung ijin pondasi yang dihitung dari data SPT (*Standart Penetration Test*), diperoleh nilai SPT dan dalam perhitungannya menggunakan **Metode Mayerhoff**. Faktor keamanan SF= 3. Berikut adalah data SPT yang diambil :

Tabel 4. 17. Tabel Hasil Uji SPT

no	kedalaman (m)	data tanah 1	no	kedalaman (m)	data tanah 2
		n (jumlah pukulan)			n (jumlah pukulan)
1	1-3	3	1	1-3	5
2	3-5	1	2	3-5	15
3	5-8	19	3	5-8	20
4	8-10	17	4	8-10	29
5	10-13	20	5	10-13	28
	rata-rata	12		rata-rata	19.4

4.8.1.1. PERHITUNGAN DAYA DUKUNG PONDASI TUNGGAL

$$P.i\text{jin} = Q_u/SF$$

$$= Q_p + Q_s$$

$$Q_u = 40N.A_p + (N_{av}.A_s)/5$$

$$Q_u 1 = 40 \times 20 \times 0.1257 + (12 \times 1.257 \times 12)/5$$

$$= 136.777$$

$$P.I\text{jin} 1 = 136.777 / 3$$

$$= 45.592$$

$$Q_u 2 = 40 \times 28 \times 0.1257 + (19.4 \times 1.257 \times 12)/5$$

$$= 199.333$$

$$P.I\text{jin} 2 = 199.333 / 3$$

$$= 66.444$$

Maka, dari P.ijin diambil nilai yang paling minimum yaitu 45,592 ton

Sedangkan kekuatan bahan berdasarkan data tiang pancang milik **PT. Wijaya Karya Beton** untuk diameter 40 cm (tipe A2), diperoleh :

$$\bar{P}_b = 121,10 \text{ ton}$$

$$P_{\text{bahan}} = 121,10 \text{ ton} > P_{\text{ijin tanah}} = 45,592 \text{ ton} \text{ (memenuhi)}$$

4.8.1.2. PERHITUNGAN KEBUTUHAN TIANG PANCANG

- Diketahui output SAP joint 138 :
 - Akibat beban tetap (1,0DL+1,0LL)

$$P = 54090.04 \text{ kg}$$
 - Akibat beban sementara (1,0DL+1,0LL+1,0EQx)

$$P = 72440.29 \text{ kg}$$
 - Akibat beban sementara (1,0DL+1,0LL+1,0EQy)

$$P = 109319.55 \text{ kg}$$

Maka diambil $P_{\text{max}} = 109319.55 \text{ kg}$

- Perencanaan dimensi Poer tipe 1 :
 - Perhitungan beban pondasi sebelum ditambahkan berat sendiri poer :

$$P_{\text{max}} (\Sigma P) = 109319.55 \text{ kg}$$

$$n = \frac{\Sigma P}{P_{\text{ijin tanah}}} = \frac{109319.55 \text{ kg}}{45592 \text{ kg}} = 2.398 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah}$$

Maka direncanakan tiang pancang sebanyak 4 buah.
 Perhitungan jarak antar tiang pancang (s) :
 $s \geq 2,5 D$

$$s \geq 2,5 \cdot 40$$

$$s \geq 100 \text{ cm}$$

Maka dipakai $s = 100 \text{ cm}$

Sedangkan perhitungan jarak tiang pancang ke tepi poer (s') diperkirakan :

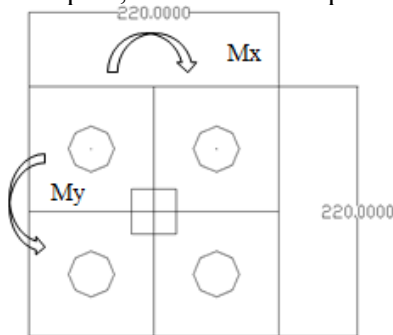
$$s' = 1,5 D$$

$$s' = 1,5 \cdot 40$$

$$s' = 60 \text{ cm}$$

Maka dipakai $s' = 60 \text{ cm}$

Dari perhitungan di atas dapat di simpulkan ukuran panjang dan lebar poer, dimana dimensi poer adalah :



Gambar 4. 40. Penampang Poer Tipe P1

- Periksa ulang kebutuhan tiang pancang setelah ditemukan dimensi poer :

Perhitungan beban pondasi setelah ditambahkan berat sendiri poer dengan tebal poer di asumsikan 500 mm :

$$P_{\max} = 109319.55 \text{ kg}$$

$$\text{Berat poer } (2,2\text{m} \cdot 2,2\text{m} \cdot 0,5\text{m} \cdot 2400\text{kg/m}^3) = \underline{5808 \text{ kg+}}$$

$$\Sigma P = 115127.55 \text{ kg}$$

$$n = \frac{\Sigma P}{P_{\text{ijin tanah}}} = \frac{115127.55 \text{ kg}}{45.592 \text{ kg}} = 2,52 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah}$$

Jadi, dibutuhkan 4 buah tiang pancang dengan dimensi penampang poer 2200 mm x 2200 mm.

4.8.1.3. PERHITUNGAN DAYA DUKUNG PILE BERDASARKAN EFISIENSI

Perhitungan daya dukung pile dalam kelompok haruslah mempertimbangkan nilai efisiensi sesuai dengan referensi buku Analisa dan Desain Pondasi jilid 2 karya Joseph E.Bowles pada halaman 279 :

$$\text{Efisiensi } (\eta) = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90.m.n}$$

Dimana :

m = banyaknya kolom

n = banyaknya baris

D = diameter tiang pancang

s = jarak antar As tiang pancang

θ = arc tg D/s

= arc tg 30/80 = 21.8°

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi } (\eta) &= 1 - \theta \left(\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90.m.n} \right) \\ &= 1 - 21,8 \left(\frac{(2-1)2 + (2-1)2}{90.2.2} \right) \\ &= 0,76 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{ijin tanah}} &= 0,76 \cdot P_{\text{ijin tanah}} \\ &= 0,76 \cdot 45592 \text{ kg} \\ &= 34548,18 \text{ kg} \end{aligned}$$

Syarat :

$P_{\text{ijin tanah}} = 34,55 \text{ ton} < P_{\text{ijin bahan}} = 121,10 \text{ ton}$
(memenuhi)

$$\begin{aligned} P_{\text{ijin tanah total}} &= \text{jumlah tiang} \cdot P_{\text{ijin tanah}} \\ &= 4 \cdot 34548,18 \text{ kg} \\ &= 138192,72 \text{ kg} \\ &= 1381927,2 \text{ N} \end{aligned}$$

Karena dimensi penampang poer dan tiang pancang sudah diperoleh semuanya maka dilakukan pengecekan akhir antara $P_{\text{umax}} \leq P_{\text{ijin tanah total}}$.

Beban pondasi setelah ditambah berat sendiri tiang pancang dan poer :

$$\begin{aligned} L_1 \text{ tiang pancang} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (0,4 \text{ m})^2 \\ &= 0,071 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_2 \text{ tiang pancang} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (0,07 \text{ m})^2 \\ &= 0,0028 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L \text{ tiang pancang} &= L_1 - L_2 \\ &= 0,071 \text{ m}^2 - 0,0028 \text{ m}^2 \\ &= 0,0682 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Pu	=	109319.55	kg	
BS. Poer	=	5808	kg	
BS.Tiang				
Pancang	=	3509.6914	kg	+
Total	=	118637.24	kg	

$$\begin{aligned} \text{Pu.Max} &= 118637.24 \text{ kg} \\ &= 118.63724 \text{ ton} \end{aligned}$$

$\text{Pu max} = 118.64 \text{ ton} \leq P \text{ ijin tanah total} = 138.193 \text{ ton}$
(memenuhi)

$\text{Pu max} = 118.64 \text{ ton} \leq P \text{ ijin bahan (A2)} = 121,10 \text{ ton}$
(memenuhi)

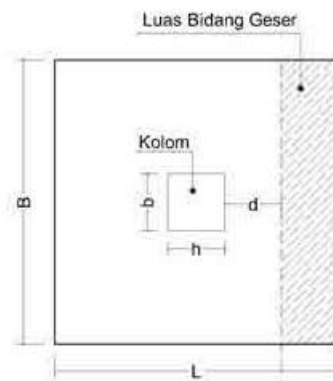
1. Perhitungan Tebal Pile Cap (Poer)

Reaksi perlawanan tanah (q_t)

$$q_t = \frac{P_{ijin \text{ tanah total}}}{\text{luasan poer}} = \frac{1381927 \text{ N}}{2200 \text{ mm} \cdot 2200 \text{ mm}} = 0.285 \text{ N/mm}^2$$

Hitung d (tinggi manfaat yang diperlukan dengan anggapan kerja balok lebar dan kerja balok 2 arah. Ambil nilai d terbesar di antara keduanya).

2. Perhitungan Geser Satu Arah pada Poer



Gambar 4. 41. Gambar Bidang Kritis Pons Satu Arah

- Beban Gaya Geser V_u (N)

$$\begin{aligned} A_t &= \frac{P_{poer} - b_{kolom} - 2d}{2} \cdot l_{poer} \\ &= \frac{2200 \text{ mm} - 400 \text{ mm} - 2d}{2} \cdot 2200 \text{ mm} \\ &= (900 - d) \text{ mm} \cdot 2200 \text{ mm} \\ &= 1980000 \text{ mm}^2 - 2200 d \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

maka :

$$\begin{aligned} V_u &= q_t \cdot A_t \\ &= 0,285 \text{ N/mm}^2 \cdot (1980000 \text{ mm}^2 - 2200 d \text{ mm}^2) \\ &= 565333,84 \text{ N} - 314,07 d \text{ N} \end{aligned}$$

- Gaya Geser yang mampu dipikul oleh beton V_c (N)

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \quad (\text{SNI 03-2847-2002 pasal 13.8.6})$$

Syarat :

$$V_u \leq \phi V_c$$

$$565333,84 \text{ N} - 314,07 d \text{ N} \leq 0,75 \cdot \frac{1}{6} \sqrt{25} \cdot 2200 \cdot d$$

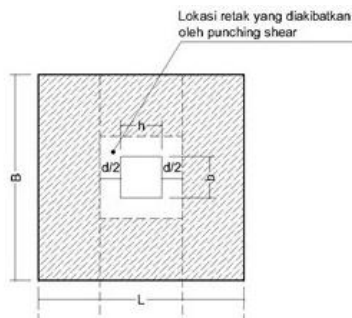
$$565333,84 \text{ N} - 314,07 d \text{ N} \leq 1375 d$$

$$565333,84 \text{ N} \leq 1375 d + 314,07 d \text{ N}$$

$$565333,84 \text{ N} \leq 1689,07 d$$

$$d \leq 334,7 \text{ mm}$$

3. Perhitungan Geser Dua Arah pada Kolom



Gambar 4. 42. Gambar Bidang Kritis Pons Dua Arah

Berdasarkan *SNI 03-2847-2002, Pasal 13.12(2) poin (a), (b), dan (c)*, untuk perencanaan pelat atau fondasi telapak aksi dua arah, untuk beton non-prategang, maka V_c harus memenuhi persamaan berikut dengan mengambil nilai V_c terkecil.

$$\rightarrow V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d$$

Dimana :

β_c = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek kolom

$$\beta_c = 400/400 = 1$$

b_o = keliling dari penampang kritis

$$= (2 \cdot (400+400)) + 4d$$

$$= 1600 + 4d$$

$$\rightarrow V_c = \left[\frac{\alpha_s \cdot d}{b_o} + 2 \right] \frac{\sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d}{12}$$

Dimana :

α_s = 40 untuk kolom dalam

$$\rightarrow V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d$$

Beban Gaya Geser V_u (N)

$$V_u = q_t \cdot (A_{poer} - A_{ponds})$$

$$= 0,285 \cdot ((2200 \cdot 2200) - ((400+d) \cdot (400+d)))$$

$$= 0,285 \cdot (4680000 - 800d + d^2)$$

$$= 1336242,6 + 228 d + 0,285 d^2$$

Persamaan 1

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d$$

(*SNI 03-2847-2002, Pasal 13.12(2) poin (a)*)

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{1}\right) \frac{1}{6} \sqrt{25} \cdot (2200 \text{ mm} + 4d) \cdot d$$

$$= 2,5 \cdot (2200 \text{ mm} + 4d) \cdot d$$

$$\begin{aligned}
 &= 2,5 \cdot (2500 d + 4d^2) \\
 &= 6250 d + 10 d^2
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$V_u \leq \phi V_c$$

$$1336242,6 + 228 d + 0,285 d^2 \leq 0,75 (6250 d + 10 d)$$

$$1336242,6 + 228 d + 0,285 d^2 \leq 4687,5 d + 7,5 d^2$$

$$0 \leq 7,215 d^2 + 4459,5 d - 1336242,6$$

$$\begin{aligned}
 d_{12} &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\
 d_{12} &= \frac{-4459,5 \text{ mm} \pm \sqrt{(4459,5 \text{ mm})^2 - (4 \cdot 7,215 \text{ mm} \cdot (-1336242,6 \text{ mm}))}}{2 \cdot 7,215 \text{ mm}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_1 &= \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\
 &= \frac{-4459,5 \text{ mm} + \sqrt{(4459,5 \text{ mm})^2 - (4 \cdot 7,215 \text{ mm} \cdot (-1336242,6 \text{ mm}))}}{2 \cdot 7,215 \text{ mm}} \\
 &= 220,78 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_2 &= \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\
 &= \frac{-4459,5 \text{ mm} - \sqrt{(4459,5 \text{ mm})^2 - (4 \cdot 7,215 \text{ mm} \cdot (-1336242,6 \text{ mm}))}}{2 \cdot 7,215 \text{ mm}} \\
 &= -838,87 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Akar yang memenuhi syarat adalah : $d_1 = 220,78 \text{ mm}$

Persamaan 2

$$\begin{aligned}
 V_c &= \left(\frac{\alpha_s \cdot d}{b_o} + 2 \right) \left(\frac{\sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d}{12} \right) \\
 &\quad (SNI 03-2847-2002, \text{ Pasal 13.12(2) poin (b)}) \\
 V_c &= \left(\frac{\alpha_s \cdot d}{b_o} + \frac{2b_o}{b_o} \right) \left(\frac{\sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d}{12} \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= \left(\frac{\alpha_s \cdot (d + 2b_o)}{b_o} \right) \cdot \left(\frac{\sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d}{12} \right) \\
 V_c &= \left(\frac{(\alpha_s \cdot (d + 2b_o) \cdot \sqrt{f_c'} \cdot d)}{12} \right) \\
 V_c &= \left(\frac{40 \cdot (d + 2(1600 + 4d)) \cdot \sqrt{25} \cdot d}{12} \right) \\
 V_c &= \left(\frac{40 \cdot (3200 + 9d) \cdot \sqrt{25} \cdot d}{12} \right) \\
 V_c &= \left(\frac{(128000 + 360 d) \cdot 5d}{12} \right) \\
 V_c &= \left(\frac{(640000 d + 1800d^2)}{12} \right) \\
 &= 150 d^2 + 53333,33 d
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$V_u \leq \phi V_c$$

$$1336242,6 + 228 d + 0,285 d^2 \leq 0,75 (53333,33 d + 150 d^2)$$

$$1336242,6 + 228 d + 0,285 d^2 \leq 40000 d + 112,2 d^2$$

$$0 \leq 112,2 d^2 + 39772 d - 1336242,6$$

$$\begin{aligned}
 d_{12} &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\
 d_{12} &= \frac{-39772 \text{ mm} \pm \sqrt{(39772 \text{ mm})^2 - (4 \cdot 112,2 \text{ mm} \cdot (-1336242,6 \text{ mm}))}}{2 \cdot 112,2 \text{ mm}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_1 &= \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\
 &= \frac{-39772 \text{ mm} + \sqrt{(39772 \text{ mm})^2 - (4 \cdot 112,2 \text{ mm} \cdot (-1336242,6 \text{ mm}))}}{2 \cdot 112,2 \text{ mm}} \\
 &= 30,90 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$d_2 = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$= \frac{-39772 \text{ mm} - \sqrt{(39772 \text{ mm})^2 - (4 \cdot 112,2 \text{ mm} \cdot (-1336242,6 \text{ mm}))}}{2 \cdot 112,2 \text{ mm}}$$

$$= -385,33 \text{ mm}$$

Akar yang memenuhi syarat adalah : $d_1 = 30,9 \text{ mm}$

Persamaan 3

$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d$$

(SNI 03-2847-2002, Pasal 13.12(2) poin (c))

$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{25} \cdot (1600 + 4d) \cdot d$$

$$V_c = 1,67 \cdot (1600 d + 4 d^2)$$

$$V_c = 2672d + 6,68d^2$$

Syarat :

$$V_u \leq \phi V_c$$

$$1336242,6 + 228 d + 0,285 d^2 \leq 0,75 (2672 d + 6,68 d^2)$$

$$1336242,6 + 228 d + 0,285 d^2 \leq 2004 d + 5,01 d^2$$

$$0 \leq 4,275 d^2 + 1776 d - 1336242,6$$

$$d_{12} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$d_{12} = \frac{-1776 \text{ mm} \pm \sqrt{(1776 \text{ mm})^2 - (4 \cdot 4,275 \text{ mm} \cdot (-1336242,6 \text{ mm}))}}{2 \cdot 4,275 \text{ mm}}$$

$$d_1 = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$= \frac{-1776 \text{ mm} + \sqrt{(1776 \text{ mm})^2 - (4 \cdot 4,275 \text{ mm} \cdot (-1336242,6 \text{ mm}))}}{2 \cdot 4,275 \text{ mm}}$$

$$= 376,09 \text{ mm}$$

$$d_2 = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$= \frac{-1776 \text{ mm} - \sqrt{(1776 \text{ mm})^2 - (4 \cdot 4,275 \text{ mm} \cdot (-1336242,6 \text{ mm}))}}{2 \cdot 4,275 \text{ mm}}$$

$$= -751,96$$

Akar yang memenuhi syarat adalah : $d_1 = 376,09 \text{ mm}$

Maka diambil d terbesar berdasarkan geser ponds dua arah akibat kolom yaitu $d = 376,09 \text{ mm}$.

- Cek terhadap Panjang Penyaluran Tulangan Kolom :
Panjang penyaluran dasar minimum untuk batang ulir yang berada dalam keadaan tekan adalah $db.f_y / (4\sqrt{f_c'})$, tetapi tidak kurang dari $0,04.db.f_y$

(SNI 03-2847-2002 pasal 14.16.1)

$$\begin{aligned} db.f_y / (4\sqrt{f_c'}) &\geq 0,04.db.f_y \\ 19 \text{ mm} \cdot 400 / (4\sqrt{25}) &\geq 0,04 \cdot 19 \text{ mm} \cdot 400 \\ 380 \text{ mm} &\geq 304 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tebal poer diambil d terbesar yaitu $d = 454,75 \text{ mm}$ dan berdasarkan perhitungan panjang penyaluran tulangan dibutuhkan 380 mm , jadi dipakai tebal poer (h) = 500 mm

$$\begin{aligned} \text{Maka } d (\text{tinggi efektif}) &= h - \text{selimut beton} - (1/2 \cdot D_{\text{tul. poer}}) \\ &= 500 \text{ mm} - 75 \text{ mm} - (1/2 \cdot 19 \text{ mm}) \\ &= 415,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

4. Perhitungan Daya Dukung Tiang Dalam Kelompok

Dari Output SAP 2000 diambil joint 137 dan didapatkan gaya-gaya dalam sebagai berikut

-	Akibat beban tetap (1.0DL + 1.0LL)		
P	=	54090.04	kg
M _x	=	524.52	kgm
M _y	=	-293.43	kgm

- Akibat beban sementara (1.0DL +1.0LL+ 1.0Eqx+0.3Eqy)

P	=	72440.29	kg
Mx	=	9987.62	kgm
My	=	-2601.48	kgm
- Akibat beban sementara (1.0DL +1.0LL+ 1.0Eqy+0.3Eqx)

P	=	109319.55	kg
Mx	=	2222.26	kgm
My	=	-9285.25	kgm
- Akibat beban tetap (1.0DL +1.0LL)

P	=	54090.04	kg
Mx	=	524.52	kgm
My	=	-293.43	kgm

Beban vertikal yang bekerja akibat pengaruh beban tetap adalah sebagai berikut

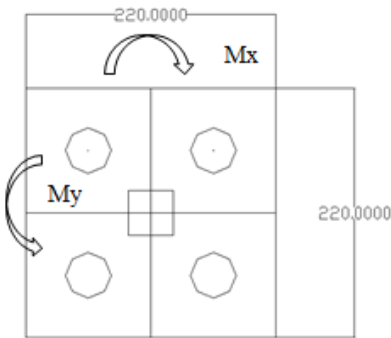
Bs.	=		
Poer	=	5808	kg
B.Aksia	=		
1 kolom	=	<u>54090.04</u>	kg
total		59898.04	kg

Kebutuhan tiang pancang

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{\Sigma p}{\text{P.ijin tanah}} \\
 &= \frac{59898.04}{45592.38} \\
 &= 1.313773
 \end{aligned}$$

= 4

Maka direncanakan menggunakan 4 buah tiang pancang



Gambar 4. 43. Penampang Poer Tipe P1

Tabel 4. 18. Perhitungan Jarak X dan Y Poer

Perhitungan jarak X dan Y

	X1	X ²		Y1	Y ²
X1	0.375	0.140625	Y1	0.375	0.14063
X2	0.375	0.140625	Y2	0.375	0.14063
X3	0.375	0.140625	Y3	0.375	0.14063
X4	0.375	0.140625	Y4	0.375	0.14063
ΣX ²	-	0.5625	ΣY ²	-	0.5625

Gaya yang dipikul masing-masing tiang pancang :

$$P = \frac{\Sigma p}{n} \pm \frac{M_y.Y}{\Sigma Y^2} \pm \frac{M_x.X}{\Sigma X^2}$$

$$P1 = \frac{\Sigma p}{n} - \frac{M_y.Y}{\Sigma Y^2} + \frac{M_x.X}{\Sigma X^2}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{n}{4} - \frac{\Sigma Y^2}{0,5625} + \frac{\Sigma X^2}{0,5625} \\
 &= \frac{59898,04}{4} - \frac{(-110,03)}{0,5625} + \frac{196,695}{0,5625} \\
 &= 14974,51 - (-195,62) + 349,68 \\
 &= 15519,81
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P2 &= \frac{\Sigma p}{n} + \frac{MY.Y}{\Sigma Y^2} - \frac{MX.X}{\Sigma X^2} \\
 &= \frac{59898,04}{4} + \frac{(-110,03)}{0,5625} - \frac{196,695}{0,5625} \\
 &= 14974,51 + (-195,62) - 349,68 \\
 &= 14429,21
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P3 &= \frac{\Sigma p}{n} - \frac{MY.Y}{\Sigma Y^2} - \frac{MX.X}{\Sigma X^2} \\
 &= \frac{59898,04}{4} - \frac{(-110,03)}{0,5625} - \frac{196,695}{0,5625} \\
 &= 14974,51 - (-195,62) - 349,68 \\
 &= 14820,45
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P4 &= \frac{\Sigma p}{n} + \frac{MY.Y}{\Sigma Y^2} + \frac{MX.X}{\Sigma X^2} \\
 &= \frac{59898,04}{4} + \frac{(-110,03)}{0,5625} + \frac{196,695}{0,5625} \\
 &= 14974,51 + (-195,62) + 349,68 \\
 &= 15128,57
 \end{aligned}$$

Maka beban maksimum yang diterima 1 pancang adalah 15519,81 kg

Berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PPIUG) pasal 1.2(2), peninjauan beban kerja pada pondasi tiang pancang adalah selama tegangan yang diizinkan didalam tiang pancang memenuhi syarat-syarat yang berlaku untuk bahan tiang yang diperlukan ($P_{ijin\ bahan} \geq P_{ijin\ tiang}$), maka daya dukung dapat dianikkan sampai 50%

$$P_{max} = P_1 \leq \eta \cdot P_{ijin\ tanah}$$

$$P_{max} = 15128,57 \text{ kg} \leq 51822,3 \text{ kg (MEMENUHI)}$$

- Akibat beban sementara ($1.0DL + 1.0LL + 1.0Eq_x + 0.3Eq_y$)

$$P = 72440.29 \text{ kg}$$

$$M_x = 9987.62 \text{ kgm}$$

$$M_y = -2601.48 \text{ kgm}$$

Beban vertikal yang bekerja akibat pengaruh beban tetap adalah sebagai berikut

$$B_s. Poer = 5808 \text{ kg}$$

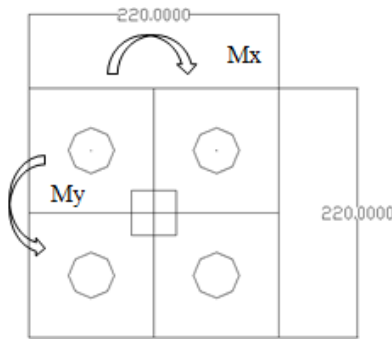
B.Aksial

$$\text{kolom} = \frac{72440.29}{4} \text{ kg}$$

$$\text{total} = 78248.29 \text{ kg}$$

Kebutuhan tiang pancang

$$\begin{aligned} n &= \frac{\Sigma p}{P_{ijin\ tanah}} \\ &= \frac{78248.29}{45592.38} \\ &= 1.716258 \\ &= 4 \end{aligned}$$



Gambar 4. 44. Penampang poer tipe P1

Maka direncanakan menggunakan 4 buah tiang pancang

Tabel 4. 19. Tabel Perhitungan Jarak X dan Y Poer

Perhitungan jarak X dan Y

	X1	X ²		Y1	Y ²
X1	0.375	0.140625	Y1	0.375	0.14063
X2	0.375	0.140625	Y2	0.375	0.14063
X3	0.375	0.140625	Y3	0.375	0.14063
X4	0.375	0.140625	Y4	0.375	0.14063
ΣX ²	-	0.5625	ΣY ²	-	0.5625

Gaya yang dipikul masing-masing tiang pancang :

$$P = \frac{\Sigma p}{n} \pm \frac{M_Y \cdot Y}{\Sigma Y^2} \pm \frac{M_X \cdot X}{\Sigma X^2}$$

$$P1 = \frac{\Sigma p}{n} - \frac{M_Y \cdot Y}{\Sigma Y^2} + \frac{M_X \cdot X}{\Sigma X^2}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{78248,29}{4} - \frac{(-975,55)}{0,5625} + \frac{3475,36}{0,5625} \\
&= 19562,07 - (-1734,32) + 6658,41 \\
&= 27954,81
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P2 &= \frac{\Sigma p}{n} + \frac{MY.Y}{\Sigma Y^2} - \frac{MX.X}{\Sigma X^2} \\
&= \frac{78248,29}{4} + \frac{(-975,55)}{0,5625} - \frac{3475,36}{0,5625} \\
&= 19562,07 + (-1734,32) - 6658,41 \\
&= 14637,98
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P3 &= \frac{\Sigma p}{n} - \frac{MY.Y}{\Sigma Y^2} - \frac{MX.X}{\Sigma X^2} \\
&= \frac{78248,29}{4} - \frac{(-975,55)}{0,5625} - \frac{3475,36}{0,5625} \\
&= 19562,07 - (-1734,32) - 6658,41 \\
&= 14637,98
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P4 &= \frac{\Sigma p}{n} + \frac{MY.Y}{\Sigma Y^2} + \frac{MX.X}{\Sigma X^2} \\
&= \frac{78248,29}{4} + \frac{(-975,55)}{0,5625} + \frac{3475,36}{0,5625} \\
&= 19562,07 + (-1734,32) + 6658,41 \\
&= 24486,17
\end{aligned}$$

Maka beban maksimum yang diterima 1 pancang adalah 27954.8 kg

Berdasarkan **Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PPIUG) pasal 1.2(2)**, peninjauan beban kerja pada pondasi tiang pancang adalah selama tegangan yang diizinkan didalam tiang pancang memenuhi syarat-syarat yang berlaku untuk bahan tiang yang diperlukan ($P_{ijin\ bahan} \geq P_{ijin\ tiang}$), maka daya dukung dapat dianikkan sampai 50%

$$\begin{aligned}
 P_{max} &= P_1 \leq \eta \cdot P_{ijin\ tanah} \\
 P_{max} &= 27954.8 \text{ kg} \leq 51822.3 \text{ kg (MEMENUHI)}
 \end{aligned}$$

- Akibat beban sementara (1.0DL + 1.0LL+ 1.0Eqy+0.3Eqx)

$$P = 109319.55 \text{ kg}$$

$$M_x = 2222.26 \text{ kgm}$$

$$M_y = -9285.25 \text{ kgm}$$

Beban vertikal yang bekerja akibat pengaruh beban tetap adalah sebagai berikut

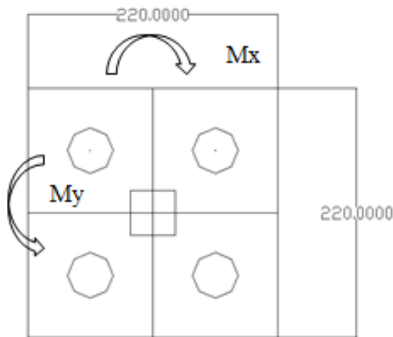
$$B_s. Poer = 5808 \text{ kg}$$

$$B. Aksial\ kolom = \frac{109319.55}{\text{total}} \text{ kg}$$

$$115127.55 \text{ kg}$$

Kebutuhan tiang pancang

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{\Sigma p}{P_{ijin\ tanah}} \\
 &= \frac{115127.55}{45592.38} \\
 &= 2.5251489 \\
 &= 4
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 45. Penampang poer tipe P1

Maka direncanakan menggunakan 4 buah tiang pancang

Tabel 4. 20.Tabel Perhitungan Jarak X dan Y Poer
Perhitungan jarak X dan Y

	X1	X ²		Y1	Y ²
X1	0.375	0.140625	Y1	0.375	0.14063
X2	0.375	0.140625	Y2	0.375	0.14063
X3	0.375	0.140625	Y3	0.375	0.14063
X4	0.375	0.140625	Y4	0.375	0.14063
ΣX ²	-	0.5625	ΣY ²	-	0.5625

Gaya yang dipikul masing-masing tiang pancang :

$$P = \frac{\Sigma p}{n} \pm \frac{MY.Y}{\Sigma Y^2} \pm \frac{MX.X}{\Sigma X^2}$$

$$P1 = \frac{\Sigma p}{n} - \frac{MY.Y}{\Sigma Y^2} + \frac{MX.X}{\Sigma X^2}$$
$$\frac{115127,55}{4} - \frac{(-3481,99)}{0.5625} + \frac{833,35}{0.5625}$$

$$\begin{aligned}
 &= 28781,88 - 6190,2 + 1481,5 \\
 &= 36453,56
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P2 &= \frac{\Sigma p}{n} + \frac{MY.Y}{\Sigma Y^2} - \frac{MX.X}{\Sigma X^2} \\
 &= \frac{115127,55}{4} + \frac{(-3481,99)}{0.5625} - \frac{833,35}{0.5625} \\
 &= 28781,89 + 6190,17 - 1481,51 \\
 &= 21110,21
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P3 &= \frac{\Sigma p}{n} - \frac{MY.Y}{\Sigma Y^2} - \frac{MX.X}{\Sigma X^2} \\
 &= \frac{115127,55}{4} - \frac{(-3481,99)}{0.5625} - \frac{833,35}{0.5625} \\
 &= 28781,9 - 6190,2 - 1481,5 \\
 &= 22490,55
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P4 &= \frac{\Sigma p}{n} + \frac{MY.Y}{\Sigma Y^2} + \frac{MX.X}{\Sigma X^2} \\
 &= \frac{115127,55}{4} + \frac{(-3481,99)}{0.5625} + \frac{833,35}{0.5625} \\
 &= 28781,9 + 6190,2 + 1481,5 \\
 &= 24073,56
 \end{aligned}$$

Maka beban maksimum yang diterima 1 pancang adalah 36453.6 kg

Berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PPIUG) pasal 1.2(2), peninjauan beban kerja pada pondasi tiang pancang adalah selama tegangan yang diizinkan didalam tiang pancang memenuhi syarat-syarat

yang berlaku untuk bahan tiang yang diperlukan ($P_{ijin\ bahan} \geq P_{ijin\ tiang}$), maka daya dukung dapat dianikkan sampai 50%

$$\begin{aligned} P_{max} &= P_1 \leq \eta \cdot P_{ijin\ tanah} \\ P_{max} &= 36453.56 \text{ kg} \leq 51822.3 \text{ kg} \text{ (MEMENUHI)} \end{aligned}$$

4.8.1.4. PENULANGAN LENTUR PILE CAP (POER)

Pada perencanaan tulangan lentur, poer diasumsikan sebagai balok kantilever jepit dengan perletakan jepit pada kolom yang dibebani oleh reaksi tiang pancang dan berat sendiri pile cap.

- Data Perencanaan
 - Dimensi poer = 2,2 m x 2,2 m x 0,5 m
 - Jumlah tiang pancang = 4 buah
 - Dimensi kolom = 40 cm x 40 cm
 - Mutu beton (f_c') = 25 MPa
 - Mutu baja (f_y) = 400 MPa
 - Diameter tulangan utama = 19 mm
 - Selimut beton (p) = 75 mm
 - ϕ = 0,8
 - h = 500 mm

$$\begin{aligned} dx &= h - \text{decking} - \frac{1}{2} \cdot \phi_{tul.lentur} \\ &= 500 \text{ mm} - 75 \text{ mm} - \frac{1}{2} 19 \text{ mm} \\ &= 415,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dy &= h - \text{decking} - \phi_{tul.lentur} - \frac{1}{2} \cdot \phi_{tul.lentur} \\ &= 500 \text{ mm} - 75 \text{ mm} - 19 \text{ mm} - \frac{1}{2} 19 \text{ mm} \\ &= 396,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Pembebanan yang terjadi pada poer adalah :
 q_u = berat poer

$$\begin{aligned}
 &= 2,2 \text{ m} \cdot 2,2 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 2400 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 5808 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Momen yang terjadi pada poer adalah :

$$\begin{aligned}
 \text{Mu} &= M_P - M_Q \\
 &= (P_{\text{ijin tanah}} \cdot \text{Jarak Tiang ke tepi poer}) \\
 &\quad ((q_u \cdot L) \cdot (\tfrac{1}{2} L)) - \\
 &= (34548,18 \cdot 0,5 \text{ m}) - ((5808 \text{ kg} \cdot 1,1 \text{ m}) \cdot (\tfrac{1}{2} \cdot 1,1 \text{ m})) \\
 &= 13760,25 \text{ kgm} \\
 &= 137602496 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \quad (\text{SNI 03-2847-2002 pasal 12.5.1})$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \beta_1 f_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 10.4.3)

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 25}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\
 &= 0,027
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{maks}} = 0,75 \rho_b$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 12.3.3)

$$\begin{aligned}
 &= 0,75 \cdot 0,027 \\
 &= 0,02
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \\
 &= \frac{400}{0,85 \cdot 25} \\
 &= 18,82
 \end{aligned}$$

- Penulangan Poer Arah X

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{137602496 \text{ Nmm}}{0,8} = 172003119 \text{ Nmm}$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 16.8.3)

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{172003119 \text{ Nmm}}{2200 \text{ mm} \cdot (415,5 \text{ mm})^2} = 0,452$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{18,82} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,82 \cdot 0,452}{400}} \right] \\ &= 0,0011 \end{aligned}$$

Cek persyaratan :

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &< \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \\ 0,0035 &< 0,00114 < 0,02 \text{ (tidak memenuhi)} \end{aligned}$$

maka, ρ_{perlu} dinaikkan 30%

$$\rho_{\text{perlu}} = 1,3 \cdot 0,000114 = 0,000148$$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d \\ &= 0,000148 \cdot 2200 \text{ mm} \cdot 415,5 \text{ mm} \\ &= 1360,04 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan :

$$S_{\max} \leq 2 h$$

$$S_{\max} \leq 2 \cdot 500 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \leq 1000 \text{ mm}$$

Maka dipakai tulangan D19

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \phi^2 \cdot b}{A_s} \\
 S &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2 \cdot 2200 \text{ mm}}{\text{mm}^2} \\
 S &= 458.82005 \text{ mm} \geq 1000 \text{ mm (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Namun pada perencanaan, digunakan 200 mm

$$S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$$

Maka penulangan poer arah sumbu X dipasang tulangan D19-200

$$\begin{aligned}
 A_{S_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \phi^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\
 &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2 \cdot 2200 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} \\
 &= 3120.0714 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat : $A_{S_{\text{pakai}}} = 3120.0714 \text{ mm}^2 > A_{S_{\text{perlu}}} = 1360.41 \text{ mm}^2$
(memenuhi)

- Penulangan Poer Arah Y

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{137602496 \text{ Nmm}}{0,8} = 172003119 \text{ Nmm}$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 16.8.3)

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{172003119 \text{ Nmm}}{2200 \text{ mm} \cdot (396,5 \text{ mm})^2} = 0,497$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{18,82} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,82 \cdot 0,497 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}} \right] \\
 &= 0.00126
 \end{aligned}$$

Cek persyaratan :

$$\begin{array}{l} \rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \\ 0,0035 < 0.00126 < 0,02 \end{array} \quad (\text{tidak memenuhi})$$

maka, ρ_{perlu} dinaikkan 30%

$$\rho_{\text{perlu}} = 1,3 \cdot 0.00126 = 0.0016$$

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{perlu}}} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d \\ &= 1426.76 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan :

$$\begin{aligned} S_{\max} &\leq 2h \\ S_{\max} &\leq 2 \cdot 500 \text{ mm} \\ S_{\max} &\leq 1000 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipakai tulangan D19

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s} \\ S &= 437.36 \text{ mm} < 1000 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Namun pada perencanaan, digunakan 200 mm

$$S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$$

Maka penulangan poer arah sumbu Y dipasang tulangan D19-200

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2 \cdot 800 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} \\ &= 3120.071 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat :

$$A_{S_{\text{pakai}}} = 3120.071 \text{ mm}^2 > A_{S_{\text{perlu}}} = 1426.76 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

PENUTUP

5.1. KESIMPULAN

Gedung SMA Muhammadiyah 3 Gadung Surabaya direncanakan sesuai dengan persyaratan SNI 03-2847-2002, SNI 03-1729-2002, SNI 03-1726-2002, PPIUG 1983, PBI 1971 sebagai berikut :

a. Struktur Atas

1. Pelat

- Pelat lantai 1 hingga lantai 4 adalah pelat dua arah dan satu arah setebal 12 cm dengan tulangan lapangan dan tumpuan \emptyset 12 - 200 mm dan tulangan susut diameter \emptyset 10-200

2. Tangga

- Injakan tangga 30 cm.
- Tanjakan tangga 15 cm.
- Pelat tangga memiliki tebal 15 cm dengan tulangan \emptyset 10 - 100 mm dan \emptyset 10 - 150 mm

3. Balok

- Balok Induk arah Y dimensi 30/40 tanpa penulangan torsi, penulangan lentur tumpuan kiri 2D19, penulangan lentur tumpuan kanan 6D19, penulangan lentur lapangan 2D19 dan penulangan geser tumpuan \emptyset 8- 85 mm serta lapangan \emptyset 8 - 150
- Balok Induk arah X dimensi 20/30 dengan penulangan torsi 4 \emptyset 10, penulangan lentur tumpuan kiri 3D19, penulangan lentur tumpuan kanan 2D19, penulangan lentur lapangan 2D19 dan penulangan geser tumpuan \emptyset 8- 60 mm serta lapangan \emptyset 8 - 120

- Balok Anak arah X dimensi 20/25 tanpa penulangan lentur tumpuan kiri 2D19, penulangan lentur tumpuan kanan 2D19, penulangan lentur lapangan 2D19 dan penulangan geser tumpuan \emptyset 8- 40 mm serta lapangan \emptyset 8 - 80

4. Kolom

Kolom dimensi 40/40 dengan penulangan lentur 12D19 dan penulangan geser \emptyset 8- 150 mm.

b. Struktur Bawah

1. Sloof

Sloof dimensi 30/45 dengan penulangan lentur 6D19 dan penulangan geser tumpuan \emptyset 10-80 mm serta penulangan geser lapangan \emptyset 10- 150 mm

2. Tiang Pancang dan Pile Cap

- Digunakan tiang pancang dari PT. Wijaya Karya Beton dengan diameter 40 cm (tipe A2).
- Kedalaman tiang pancang 12 m.
- Digunakan penulangan lentur pile cap D19-200.

Dengan perhitungan yang didapat maka gedung SMA Muhammadiyah 3 Surabaya dapat dibangun dengan menggunakan sistem rangka pemikul momen menengah berlokasi di Surabaya dengan menyesuaikan dengan peta Hazard Gempa

4.1 Saran

Untuk bangunan yang dipilih hendaknya disesuaikan dengan peta Hazard dan direncanakan dengan sistem rangka pemikul momen sesuai dengan fungsi bangunannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: PU.
- Departemen Pekerjaan Umum . (1983). *Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PPIUG 1983)*. Bandung: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2002). *Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002)*. Jakarta: Yayasan Penerbit PU.
- Kurniawan, R., & Raharja, R. (2009). *Perencanaan Struktur Gedung Bank NISP Jalan Sisingamaraja Nomor 78-80 Semarang*. Semarang.
- Standarisasi Nasional Indonesia. (2013). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Yayasan Penerbit PU.
- Wang, C. K., & Salmon, C. G. (1990). *Desain Beton Bertulang Jilid I*. Jakarta: Erlangga.
- Wang, C. K., & Salmon, C. G. (1994). *Desain Beton Bertulang Jilid II*. Jakarta: Erlangga.

CLASSIFICATION

Outside Diameter (mm)	Wall Thickness (mm)	Class	Concrete Cross Section (cm ²)	Section Modulus (cm ³)	Bending Moment Capacity (tf.m)		Allowable Axial Load (tf)
					Crack	Ultimate	
300	60	A2	452	2368,70	2,50	3,75	72.60
		A3		2389,60	3,00	4.50	70.75
		B		2431,40	3,50	6.30	67.50
		C		2478,70	4,00	8.00	65.40
350	65	A1	582	3646,00	3,50	5.25	93.10
		A3		3693,90	4,20	6.30	89.50
		B		3741,70	5,00	9.00	86.40
		C		3787,60	6,00	12.00	85.00
400	75	A2	765	5483,50	5.50	8.25	121.10
		A3		5537,40	6.50	9.75	117.60
		B		5591,30	7.50	13.5	114.40
		C		5678,20	9.00	18.00	111.50
450	80	A1	929	7591,60	7.50	11.25	149.50
		A2		7655,60	8.50	12.75	145.80
		A3		7717,10	10.0	15.00	143.80
		B		7783,80	11.0	19.80	139.10
		C		7929,00	12.50	25.00	134.90
500	90	A1	1159	10505,00	10.50	15.75	185.30
		A2		10579,30	12.50	18.75	181.70
		A3		10653,50	14.00	21.00	178.20
		B		10727,80	15.00	27.00	174.90
		C		10944,60	17.00	34.00	169.00
600	100	A1	1570	17482,80	17.00	25.50	252.70
		A2		17577,70	19.00	28.50	249.00
		A3		17792,70	22.00	33.00	243.20
		B		17949,60	25.00	45.00	238.30
		C		18263,40	29.00	58.00	229.50

Notes:

- 1) Pile are generally comply to JIS A 5335 - 1985 and modified to suit to ACI 543 - 1979, JSCE and PBI - 1971
- 2) Specified concrete cube compressive strength is 600 kg/cm² at 28 days
- 3) Allowable axial load is applicable to pile acting as a short strut



DRILLING LOG

Project No. : 1
 Bore Hole No. : BM VII
 Water Table : 1.0 m

Project : Lingkar Luar Timur
 Lokasi : Surabaya
 Elevation : ± 0.0 (muka tanah setempat)

Type of Drill : Rotary
 Date : 22-Jun-13
 Driller : Dwi Santoso

Ket :

Scale in m	Elevation	Depth in m	Thickness in m	Legend	Description & Colour	Relative Density or Consistency	UD / SPT		Standard Penetration Test				N - Value	Physical Properties					Atterberg Limit			Oedometer Test		Strength Test							
							Depth in m	Sample Code	N-Value Blows/30 cm	Blows per each 15 cm				γ_t Ton/m ³	W_c %	S_r %	e	G_s	LL %	PL %	PI %	C_c	Swell Test		Testing Type	C kg/cm ²	ϕ °	q_u kg/cm ²			
										15 cm	15 cm	15 cm											SP	SwP							
0		0.00																													
1																															
2																															
3																															
4																															
5																															
6		-6.00	6.00																												
7																															
8																															
9																															
10		-10.00	4.00																												
11																															
12																															
13																															
14																															
15																															
16																															
17																															
18																															
19																															
20																															
21																															
22																															
23																															
24		-24.00	14.00																												
25																															
26																															
27																															
28																															
29																															
30		-30.00	6.00																												

Legenda :
 = Lempung
 = Pasir
 = Batu
 = Muka air Tanah
 = Kerikil

Remarks :
 UD = Undisturbed Sample
 SPT = SPT Test

* = Not Tested
 NP = Non Plastic
 NS = Not Sample/SPT > 50

γ_t = Unit weight
 W_c = Water content
 S_r = Degree of Saturation

e = Void Ratio
 G_s = Specific Gr

LL = Liquid limit
 PL = Plastic limit
 PI = Plasticity Index

Project No. : 1	Project : Lingkar Luar Timur	Type of Drilling : Rotary	Ket :
Bore Hole No. : BM VIII	Lokasi : Surabaya	Date : 20-Jun-13	
Water Table : 1.0 m	Elevation : $\pm 0,0$ (muka tanah setempat)	Driller : Dasuki	

[illegible]

Legenda :		Remarks :																	
	= Lempung		= Pasir		= Batu		= Muka air Tanah	UD	= Undisturbed Sample	SPT	= SPT Test	* = Not Tested	NP = Non Plastis	NS = Not Sample	SPT > 50	γ = Unit weight	e = Void Ratio	LL = Liquid limit	
	= Lanau		= Kertikal					NP	= Non Plastis			Wc	= Water content	Gs	= Specific Gr	PL	= Plastic limit	PI	= Plasticity Index
												Sr	= Degree of Saturation						



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 PROGRAM STUDI DIPLOMA - JURUSAN TEKNIK SIPIL
 Kampus ITS Manyar, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
 Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI PROYEK AKHIR

Nama : REINHARD HERMAWAN LASUT / DITA ADELIA A.
NRP : 3112030111 / 3112030137
Judul Tugas Akhir :

Dosen Pembimbing : Ir. M. SIGIT DARMAWAN M.Eng. Sc, Ph.D.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
1.	13 Februari 2015	- Tangga digambar pada denah.				
		- Revisi perhitungan prelim.				
		- Permodelan struktur.		B	C	K
		- Lanjut perhitungan plat.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.	4 Maret 2015	- Cek penulangan (diameter tulangan)				
		- Gambar penulangan plat				
		- Sup ikuti denah balok		B	C	K
		- Dinding Arsitektur tetap dipakai		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.	19 Maret 2015.	- Plat pakai two way / one way.				
		- Bobot gempa di bebaskan pada kolom				
		- Bordes bagian dari lantai.		B	C	K
		- Per. balok tinau. per portal.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	1 April 2015	- $f_c' = 25 \text{ MPa}$ (define material)				
		- Cek reaksi kolom manual				
		ujung-ujung kolom (DL+LL)		B	C	K
		3 titik (tengah, pinggir 2)		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Dicari momen tangga tidak				
		dari tabel display (buck tangga				
		sendiri beri support joint		B	C	K
		restrains \rightarrow bondingkan momen		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Gempa kolom tidak beraturan?				

Ket. :
 B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Terlambat dari jadwal



ASISTENSI PROYEK AKHIR

Nama :
 NRP :
 Judul Tugas Akhir :

Dosen Pembimbing :

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
5.	21 April 2015	- Cek manual dengan SAP pada kolom. (selisih terlalu besar).				
		- Tangga beban mati + beban hidup (D + L).		B	C	K
		- Cek semua titik kolom.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	30 April 2015	- Semua penulangan balok dibuat rangkap				
		- $P \rightarrow M_x / M_y, M_x / M_y \rightarrow P$		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	7 Mei 2015	- Kombinasi pada balok memakai $1/2 D + 1/4 L$ (untuk geser).				
		- Semua kombo dimasukkan ke PCA COL.		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8.	20 Mei 2015	- Kombinasi D + L, 1D + 1L + 1Ex		B	C	K
		1D + 1L + 1Ex untuk pondasi.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Pondasi jangan digumlah.				
		untuk P ijin				
		- Data SPT (hitung pukulan)		B	C	K
		- Tulangan torsi diabaikan pada sloof.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket. :
 B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Terlambat dari jadwal

BIOGRAFI PENULIS



Penulis lahir pada tanggal 3 bulan Juli tahun 1994 dan merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis bernama lengkap Reinhard Hermawan Lasut ini telah menempuh pendidikan formal yaitu di SD Negeri 1 Banyakan Kediri, SMP Negeri 1 Grogol Kediri dan SMP Negeri 19 Surabaya, serta SMK Negeri 3 Surabaya. Setelah lulus dari SMK tahun 2012, penulis mengikuti Ujian Masuk Diploma III dan diterima di Program Studi Diploma III Teknik Sipil FTSP –

ITS pada tahun yang sama dan terdaftar dengan NRP 3112 030 111. Di Program Studi Diploma III Teknik Sipil ini, penulis pernah mengikuti Organisasi Kerohanian Islam dan sempat menduduki jabatan sebagai Bendahara Umum dan mengikuti Himpunan Mahasiswa D3 Teknik Sipil sebagai staf Sosial Masyarakat. Ditambah lagi pada tahun ketiga penulis sempat menjabat sebagai Sekretaris Riset dan Teknologi di Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan serta penulis aktif dalam menyelesaikan beberapa kegiatan yang ada di kampus ITS Manyar dan Kampus ITS Sukolilo, seperti : Tower Construction Competition (TCC), Bridge Construction Competition (BCC) dan Aplikasi Teknologi untuk Kampung Nelayan Kenjeran . Selain mengisi waktu dengan kegiatan akademik dan organisasi, di waktu senggangnya penulis sering menghabiskan untuk mendengarkan musik.

BIOGRAFI PENULIS



Penulis lahir pada tanggal 20 bulan Februari tahun 1994 dan merupakan anak pertama dari lima bersaudara. Penulis bernama lengkap Dita Adelia Anggraini ini telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDN Tanah Kali Kedinding I Surabaya, SMPN 15 Surabaya dan SMAN 15 Surabaya. Setelah lulus dari SMA tahun 2012, penulis mengikuti Seleksi Masuk ITS (SMITS) dan diterima di Program Studi Diploma III Jurusan Teknik Sipil FTSP – ITS pada tahun yang sama dan terdaftar dengan NRP 3112030137. Penulis juga mengambil konsentrasi penjurusan bangunan gedung.

Selama menjalani perkuliahan, penulis juga aktif mengikuti organisasi yaitu menjabat sebagai staf departemen *Big Event* Himpunan Mahasiswa Diploma Teknik Sipil pada tahun 2013. Dan aktif dalam beberapa kegiatan kampus seperti kepanitian *D'village ITS* tahun 2012 dan tahun 2013.